

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Dujo Bilić

Zagreb, 2019. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Dr. sc. Damir Godec, dipl. ing.

Student:

Dujo Bilić

Zagreb, 2019. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru, obitelji, prijateljima i svima koji su mi pružali potporu u pisanju ovoga rada.

Dujo Bilić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Dužo BILIĆ** Mat. br.: 0035197383

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **KONSTRUIRANJE KUĆIŠTA ČITAČA QR KODA ZA ADITIVNU PROIZVODNJU**

Naslov rada na engleskom jeziku: **DESIGN OF QR CODE SCANNER FOR ADDITIVE MANUFACTURING**

Opis zadatka:

Aditivna proizvodnja (eng. *Additive Manufacturing*) sve se više, osim za izradu prototipnih modela, koristi i za pojedinačnu ili maloserijsku proizvodnju. Načela gradnje sloj-po-sloj pri aditivnoj proizvodnji omogućuju izradu vrlo kompleksne geometrije proizvoda, koju bi klasičnim postupcima proizvodnje bilo vrlo teško ili nemoguće izraditi. Međutim, iako aditivna proizvodnja daje konstruktoru veliku slobodu u oblikovanju proizvoda, kako bi se maksimalno iskoristile prednosti, ali i udovoljilo ograničenjima pojedinih postupaka aditivne proizvodnje, potrebno je pri konstruiranju proizvoda namijenjenih aditivnoj proizvodnji primijeniti odgovarajuće smjernice za konstruiranje proizvoda za aditivnu proizvodnju (eng. *Design for Additive Manufacturing*).

U okviru završnog rada potrebno je navesti općenite smjernice za konstruiranje proizvoda za aditivnu proizvodnju te ih primijeniti na konkretnom slučaju: konstruiranju kućišta čitača QR koda. Na tom primjeru potrebno je navesti prednosti i eventualne nedostatke primjene aditivne proizvodnje u usporedbi s klasičnom proizvodnjom kućišta postupkom injekcijskog prešanja.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i primljenu pomoć.

Zadatak zadan:

29. studenog 2018.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Damir Godec

Rok predaje rada:

1. rok: 22. veljače 2019.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.

3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.

2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.

3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS OZNAKA	IV
SAŽETAK	V
SUMMARY	VI
1. UVOD	1
2. ADITIVNA PROIZVODNJA	2
2.1. Povijesni razvoj aditivne proizvodnje	2
2.2. Definicija aditivne proizvodnje	5
2.2.1. Suvremeni zahtjevi tržišta pri razvoju proizvoda	5
2.2.2. Utjecaj uporabe prototipova i modela na ključne čimbenike uspješnosti	8
2.2.3. Mogućnosti primjene postupaka aditivne proizvodnje	10
2.3. Postupci aditivne proizvodnje	11
2.3.1. Stereolitografija	11
2.3.2. Selektivno lasersko srašćivanje (SLS)	12
2.3.3. 3D tiskanje	13
2.3.4. Postupci aditivne proizvodnje temeljeni na ekstrudiranju	15
2.3.5. Slojevita izrada laminiranjem	15
3. INJEKCIJSKO PREŠANJE	17
3.1. Definicija i postupci injekcijskog prešanja	18
3.2. Linija za injekcijsko prešanje	18
3.3. Nedostaci u obliku, izmjerama i masi otpreska	19
3.4. Točnost i preciznost otpreska	19
3.5. Nedostaci u strukturi i izgledu otpreska	20
3.5.1. Promjene molekularne strukture	20
3.5.2. Napetosti	21
4. ČITAČ QR KODOVA – QrBox	22
4.1. O QrBox-u	22
4.2. Područje primjene QrBox-a	24
5. KONSTRUIRANJE I IZRADA KUĆIŠTA ČITAČA QR KODA POSTUPKOM ADITIVNE PROIZVODNJE	25
5.1. Pravila modeliranja u aditivnoj proizvodnji	25
5.1.1. Pravila modeliranja s obzirom na injekcijsko prešanje	25
5.1.2. Pravila konstruiranja kod aditivne proizvodnje	26
5.2. Postupak konstruiranja i izrade kućišta	29
5.2.1. Dimenzioniranje kućišta	30
5.2.2. Razvoj računalnog 3D modela kućišta	31
5.2.3. 3D ispis kućišta	34
5.2.3.1. FDM postupak	34
5.2.3.2. Priprema za 3D ispis	35
5.2.3.3. 3D ispis kućišta	37

5.2.4. Završna obrada kućišta.....	40
5.2.4.1. Brušenje	41
5.2.4.2. Obrada akrilnim kitom	42
5.2.4.3. Lakiranje	43
6. PREDNOSTI I NEDOSTACI PRIMJENE ADITIVNE PROIZVODNJE U USPOREDBI S KLASIČNOM PROIZVODNjom POSTUPKOM INJEKCIJSKOG PREŠANJA.....	44
7. ZAKLJUČAK.....	45
LITERATURA.....	46
PRILOZI.....	47

POPIS SLIKA

Slika 1.	Suvremeni zahtjevi pri razvoju proizvoda [1]	5
Slika 2.	Odnosi utjecaja različitih čimbenika na gubitak dobiti [1]	6
Slika 3.	Procjena troškova i upravljanje troškovima kao funkcije napredovanja procesa razvoja proizvoda [1].....	9
Slika 4.	Grafički prikaz opravdanosti primjene postupaka aditivne proizvodnje [1]	10
Slika 5.	Najčešća područja primjene prototipova [1]	11
Slika 6.	Načela postupka stereolitografije [1]	12
Slika 7.	Načela postupka selektivnog laserskog srašćivanja [1]	13
Slika 8.	Načela rada postupka 3D tiskanja [1].....	14
Slika 9.	Načela rada postupka laminiranja [1].....	16
Slika 10.	Prikaz očitavanja QR koda s mobilnog uređaja	23
Slika 11.	Utjecaj orijentacije na kvalitetu 3D ispisa [4]	27
Slika 12.	Anizotropija [4]	27
Slika 13.	Potporna struktura [4].....	28
Slika 14.	Zračnost u sklopu [4].....	28
Slika 15.	Dobra i loša konstrukcija prijelaza [4]	29
Slika 16.	Zamišljeni izgled QrBox-a postavljenog na zid	29
Slika 17.	Model sklopa u CAD programu Creo Parametric 4.0	30
Slika 18.	Primjer je tehničke dokumentacije za računalo Raspberry Pi 3B+ [6]	31
Slika 19.	Slika sklopa QrBox-a	31
Slika 20.	Poklopac kućišta QrBox-a s valjcima za jednolično hlađenje modela tijekom 3D ispisa.....	32
Slika 21.	Stražnji dio kućišta	33
Slika 22.	Držać s ekranom	33
Slika 23.	Načela postupka taložnog srašćivanja [1]	34
Slika 24.	Određivanje nekih parametara unutar MakerBot MakeWare programa [7]	37
Slika 25.	Početak ispisa QrBox-a	38
Slika 26.	Ispis QrBox-a	39
Slika 27.	Završetak ispisa QrBox-a	40
Slika 28.	Prikaz postupka brušenja kućišta QrBox-a	41
Slika 29.	Prikaz postupka obrade akrilnim kitom kućišta QrBox-a	42
Slika 30.	Prikaz postupka lakiranja kućišta QrBox-a	43

POPIS OZNAKA

AM	Additive Manufacturing
SL	Stereolithography
SOUP	Solid Object Ultraviolet Plotter
SCS	Solid Creation System
FDM	Fused Deposition Modeling
SGC	Solid Ground Curing
LOM	Laminated Object Manufacturing
SLS	Selective Laser Sintering
BPM	Ballistic Particle Manufacturing
LENS	Laser Engineered Net Shaping
CMB	Controlled Metal Buildup
POM	Precision Optical Manufacturing
DMD	Direct Metal Deposition
RP	Rapid Prototyping
RT	Rapid Tooling
RM	Rapid Manufacturing
SIP	Sustav za Injekcijsko Prešanje
PS	Polistiren
PVC	Poli(vinil-klorid)
PMMA	Poli(metil-metakrilat)
PC	Polikarbonat
LED	Light Emitting Diode
RFID	Radio-Frequency IDentification
STL	Standard Tessellation Language
ABS	Akronitril-butadien stiren
CAD	Computer-Aided Drawing

SAŽETAK

U ovom radu osmišljeno je, konstruirano i izrađeno kućište za čitač QR kodova – QrBox postupkom FDM aditivne proizvodnje. Kućište je namijenjeno za ugradnju na zid na ulasku u prostorije. U kućištu su predviđena mjesta za ugradnju Raspberry Pi računala, pripadajuće kamere i LED ekrana. Također su navedene i objašnjene smjernice za općenito konstruiranje proizvoda za aditivnu proizvodnju, povijest aditivne proizvodnje, kao i usporedba aditivne proizvodnje i injekcijskog prešanja na primjeru kućišta za čitač QR kodova. Kako bi se lakše predočio izgled i cilj konstruiranja kućišta napravljeni su realni 3D prikazi sklopa kao i pojedinih sklopnih dijelova. Isto tako opisan je način budućeg funkcioniranja čitača kako bi se opravdala konstrukcija istoga.

SUMMARY

In this paper housing for QR code reader – QrBox is designed, constructed and produced using FDM additive technology. The housing is intended for installation on the wall by the entrance to premises. The enclosure provides space for the installation of Raspberry Pi computer, related camera and LED screen. Also in the paper there are general guidelines for designing products with additive technology, history of additive production and the comparison of additive production with injection molding on the example of the housing for the QR code reader. In order to make it easier to see the purpose of the enclosure 3D renders are made. Paper also describes the way in which the reader works to justify the construction.

1. UVOD

QR kodovi nastali 1994. u Japanu danas su postali popularni i izvan automobilske industrije, te imaju različite primjene od pohranjivanja poveznica na Internet stranice do identificiranja predmeta, lokacija i upravljanja dokumentima. Na Fakultetu strojarstva i brodogradnje se koriste za evidentiranja dolazaka studenata na nastavu pomoću skeniranja QR kodova jedinstvenih svakom studentu. Trenutačno se skeniranje provodi isključivo putem mobilnih uređaja, a pojavila se potreba za uvođenjem infrastrukture koja bi se postavila na ulaze u dvorane i učionice. Aditivna proizvodnja bila je logično rješenje za prototip kućišta čitača QR koda s obzirom na brzinu izrade, relativno mali trošak i mogućnost izrade kućišta proizvoljne geometrije. Sukladno tome navedene su općenite smjernice za konstruiranje proizvoda za aditivnu proizvodnju. Kako bi se opravdao odabir aditivne proizvodnje napravljena je i usporedba s proizvodnjom procesom injekcijskog prešanja, te su navedene prednosti i nedostaci proizvodnje jednim i drugim procesom.

2. ADITIVNA PROIZVODNJA

2.1. Povijesni razvoj aditivne proizvodnje

Razvoj postupaka aditivne proizvodnje (AM) počinje 1987. godine pojavom stereolitografije (e. Stereolithography - SL/SLA), postupka razvijenog u tvrtki 3D Systems (SAD). Postupak je omogućivao očvršćivanje kapljevito fotopolimera osjetljivog na djelovanje ultraljubičastog zračenja u tankim slojevima s pomoću lasera. Prvi komercijalno raspoloživi sustav za aditivnu proizvodnju bio je SLA-1, preteča nekad vrlo popularnog uređaja SLA 250. Tvrtka 3D Systems poslije je plasirala sustav Viper SLA, koji je zamijenio SLA 250. Postupak je omogućivao očvršćivanje kapljevito fotopolimera. [1]

Godine 1988. tvrtke 3D Systems i Ciba-Geigy udružile su se u razvoju SL materijala i ta je suradnja urodila komercijalizacijom prve generacije kapljevito fotopolimera na osnovi akrila. Iste je godine i tvrtka DuPont razvila stereolitografski uređaj Somos i odgovarajuće fotopolimerne materijale. Nakon što je tvrtka 3D Systems komercijalizirala SL postupak u SAD-u, japanske tvrtke NTT Data i Sony/D-MEC komercijalizirale su svoje inačice stereolitografije tijekom 1988. i 1989. godine. Tvrtka NTT Data (sada dio Teijin Seiki) nazvala je svoj sustav Solid Object Ultraviolet Plotter (SOUP), dok je Sony/D-MEC (sada D-MEC) svoj sustav nazvao Solid Creation System (SCS). [1,2]

Tijekom 1991. godine komercijalizirana su tri nova postupka aditivne proizvodnje. To su: postupak očvršćivanja taloženjem (e. Fused Deposition Modeling - FDM), koji je razvila tvrtka Stratasys (SAD), tonografski postupak (e. Solid Ground Curing -SGC) tvrtke Cubital (SAD) i postupak laminiranja (e. Laminated Object Manufacturing LOM) tvrtke Helsys (SAD). Pri FDM postupku plastomerni se materijal ekstrudira i nanosi s pomoću mlaznice na željena mjesta sloj po sloj praveći proizvod. SGC postupak temelji se na uporabi kapljevito polimera osjetljivih na UV zračenje. Čitav sloj proizvoda očvršćuje odjednom propuštanjem UV zrake kroz latentnu masku načinjenu s pomoću elektrostatičkog tonera na staklenoj ploči. Pri LOM postupku riječ je o povezivanju i rezanju materijala u obliku folija ili tankih ploča s pomoću računalno upravljane laserske zrake. Tvrtke Cubital i Helsys više ne posluju. [1,3]

Tijekom 1992. godine na tržištu su se pojavili prvi sustavi za selektivno lasersko srašćivanje (e. Selective Laser Sintering - SLS). Pioniri na tom području bile su tvrtke DTM (sada dio tvrtke 3D Systems) i Teijin Seiki (sada dio CMET Inc.). Pri SLS postupku toplina laserskog zračenja rabi se za taljenje praškastih materijala. [1]

Godine 1996. tvrtka Stratasys predstavila je uređaj Genisys, koji je radio prema načelima postupka ekstrudiranja, slično kao i FDM postupak, no temeljio se na aditivnom procesu razvijenom u IMB Watson Research Center. Nakon osam godina proizvodnje i prodaje sustava za stereolitografiju tvrtka 3D Systems plasirala je na tržište svoj prvi 3D pisač (Actua 2100) s ink-jet mehanizmom. Iste godine tvrtka Z Corporation (SAD) na tržište je lansirala svoj pisač za konceptijsko modeliranje Z402 3D. Uređaj se temeljio na MIT postupku 3D tiskanja (3DP) modela od praškastih materijala na bazi škroba i gipsa te kapljevito veziva na bazi vode. Te je godine s prodajom poluautomatskog sustava za laminiranje papira započela i tvrtka Schroff Development (SAD). Tvrtka BPM Technology (SAD) tijekom 1996. komercijalizirala je sustav za postupak balističkog oblikovanja (e. Ballistic Particle Manufacturing - BPM). Postupak se temeljio na nanošenju voska s pomoću ink-jet glave pisača. Tvrtka je u listopadu 1997. napustila taj projekt. Singapurska tvrtka Kinergy 1996. počela je s prodajom sustava za laminiranje papira Zippy, koji je funkcionirao na načelima LOM postupka. [1,3]

Godine 1998. tvrtka Optomec (SAD) komercijalizirala je svoj postupak taloženja metalnog praha s pomoću lasera (e. Laser Engineered Net Shaping LENS) Sustav je razvijen u Sandia National Labs. U ožujku 1999. godine tvrtka 3D Systems predstavila je bržu i jeftiniju verziju sustava Actua 2100, nazvanu ThermoJet. Iste godine tvrtka je počela s prodajom uređaja SLA 7000 (stereolitografija), koji je u to doba s cijenom od 800 000 USD bio najskuplji sustav za aditivnu proizvodnju polimernih proizvoda na tržištu. U travnju 1999. godine tvrtka Extrude Hone (SAD), sada dio grupacije Ex One, instalirala je svoj prvi ProMetal sustav RTS-300. Sustav se temelji na MIT 3DP procesu ink-jet tiskanja metala. Tvrtka Fockele & Schwarze (Njemačka) predstavila je svoj prvi sustav temeljen na selektivnome laserskom taljenju metalnog praha (e. Selective Laser Melting - SLM), koji je bio razvijen u suradnji s Fraunhofer Institut für Lasertechnik. Iste je godine tvrtka Röders (Njemačka) na tržište plasirala postupak kontrolirane izrade metalnih dijelova (e. Controlled Metal Buildup-CMB), također razvijen na Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung. [1]

Travanj 2000. godine obilovao je novostima. Tvrtka Objet Geometries (Izrael) najavila je uređaj Quadra, 3D ink-jet pisač kojim se taloži i očvršćuje fotopolimer uporabom glave pisača s 1536 mlaznica i izvorom UV svjetla (postupak PolyJet). Tvrtka Sanders Prototype (SAD), danas Solidscape, predstavila je uređaj za izradu preciznih voštanih pramodela, nazvan PatternMaster. Precision Optical Manufacturing (POM) iz SAD-a najavio je postupak izravnog taloženja metala (e. Direct Metal Deposition DMD), laserski postupak namijenjen za izradu proizvoda od metalnog praha te općenito reparaturu metalnih proizvoda. Tvrtka Z Corporation predstavila je pisač Z402C, prvi komercijalno dostupan višebojni 3D pisač na svijetu. [1]

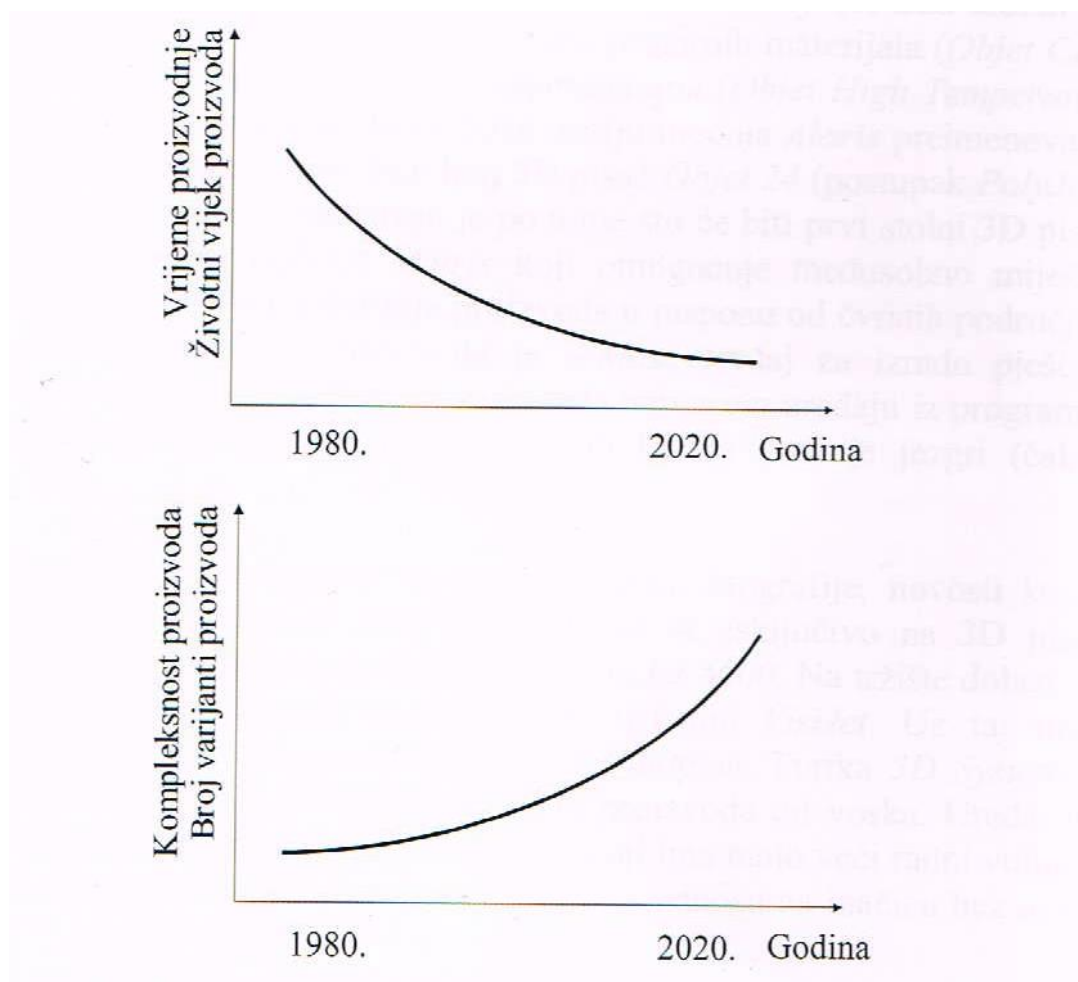
Brzi razvoj na području aditivnih tehnologija nastavljen je u sljedećim godinama. Siječanj 2009. godine bio je posebice važan za područje postupaka aditivne proizvodnje. Tada je osnovana međunarodna komisija ASTM International Committee F42 za postupke aditivne proizvodnje. Komisija je osnovana kako bi se stvorile norme za ispitivanje, procese, materijale, konstrukcije (uključivo formate zapisa datoteka) i terminologiju. Njezino je povijesno značenje u definiranju postupaka aditivne proizvodnje, koje je poslije, u studenome 2012. godine, prihvatila i komisija ISO-a, kao normu ISO/TC 261. Definicija u izvorniku glasi: "Additive Manufacturing is a process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer by layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies." Tako se od 2009. godine za postupke aditivne proizvodnje uvodi naziv Additive Manufacturing, a napuštaju se nazivi koji su se do tada koristili u praksi, poput Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing, Free Form Fabrication, Digital Manufacturing i sl. [1,4]

Iako su ovim pregledom obuhvaćeni samo najvažniji događaji, očita je brza dinamika razvoja opreme i materijala za postupke aditivne proizvodnje. Najnoviji razvoj na području aditivne proizvodnje usmjeren je više k poboljšanju i kontroli kvalitete proizvoda te stvaranju novih materijala negoli k razvoju potpuno novih sustava i postupaka. Cilj je omogućiti u budućnosti jeftiniju i jednostavniju aditivnu proizvodnju konačnih proizvoda, koja će biti dostupna svakomu. [4]

2.2. Definicija aditivne proizvodnje

2.2.1. Suvremeni zahtjevi tržišta pri razvoju proizvoda

Uslijed globalizacije tržišta i prilagođavanja proizvodnje i proizvoda krajnjem korisniku sve veći naglasak se stavlja na proizvodnju visokokvalitetnih proizvoda u što kraćem vremenu i uz što niže troškove proizvodnje. Pojavom interneta svijet je postao puno manji, pa su potrošačima sada dostupni proizvodi iz cijelog svijeta što je automatski rezultiralo eksponencijalnim rastom konkurencije na tržištu, stoga ne čudi da je prilagodba zahtjevima potrošača izrazito bitna. Prilagodba zahtjevima potrošača najčešće dolazi do izražaja na kraju proizvodnog procesa iako je u današnje vrijeme moguće ponuditi prilagodbe i tijekom procesa proizvodnje, što za rezultat nosi određene zahvate u poslovnim sustavu proizvođača. Slika 1. prikazuje suvremene zahtjeve pri razvoju proizvoda. [1]



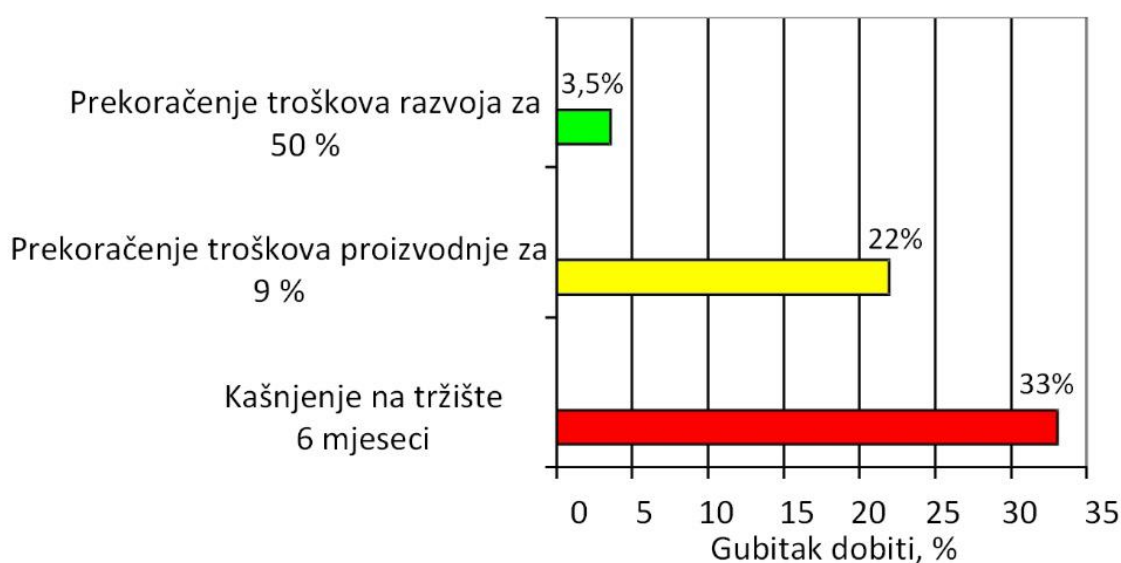
Slika 1. Suvremeni zahtjevi pri razvoju proizvoda [1]

Uspješnost i konkurentnost poslovanja tvrtke određena je s načinom na koji se ta tvrtka nosi s četiri ključne pojave na tržištu [4]:

- skraćanje vremena razvoja proizvoda
- sniženje troškova razvoja i proizvodnje
- povišenje fleksibilnosti
- povišenje kvalitete proizvoda.

Na tržištu zamjećujemo trendove sve većeg odricanja velikoserijske proizvodnje u korist pojedinačne i malo serijske proizvodnje. Vijek trajanja proizvoda je skraćen, prisutan je stalni pad cijena proizvoda na tržištu, a pri razvoju proizvoda sve više se pridaje pozornosti zaštiti okoliša i držanju različitih normi i propisa. Sve učestaliji je interdisciplinarni pristup razvoju proizvoda koji omogućuje suradnju različitih stručnjaka na razvoju proizvoda izvan matične tvrtke. Novi proizvodi su kompleksniji i kompliciraniji, a vrijeme njihove proizvodnje treba biti što kraće. [1]

Iz priloženog se da zaključiti kako je vrijeme potrebno za uvođenje proizvoda na tržište ključan čimbenik za ocjenu njegove uspješnosti. Kašnjenje s izlaskom na tržište od 6 mjeseci ima gotovo deset puta veći utjecaj na gubitak dobiti nego povišenje troškova proizvodnje za 50%. Na slici 2. prikazani su odnosi utjecaja različitih čimbenika na gubitak dobiti. [1]



Slika 2. Odnosi utjecaja različitih čimbenika na gubitak dobiti [1]

Glavne prednosti ranijeg izlaska proizvoda na tržište su [1]:

- prednost pred konkurencijom koja sporije izlazi na tržište
- prednost u definiranju cijene proizvoda prije konkurencije
- brži povrat sredstava uloženi u razvoj proizvoda (manji financijski rizik)
- potencijalno dulji vijek proizvoda na tržištu u usporedbi s konkurencijom
- potencijalno veća ostvarena dobit od prodaje proizvoda (ostvarena veća sredstva za razvoj novih proizvoda).

Aditivna proizvodnja ostvaruje se na tri načina [1]:

- postupke brze proizvodnje prototipova (e. Rapid Prototyping – RP)
- postupke brze proizvodnje alata i kalupa (e. Rapid Tooling – RT)
- postupke brze (izravne) proizvodnje (e. Rapid Manufacturing – RM)

Ti postupci omogućuju proizvodnju proizvoda vrlo kompliciranih oblika izravno iz računalnih podataka u vrlo kratkom vremenu s pomoću najčešće automatiziranih procesa. Riječ je, u pravilu, o procesima u kojima se proizvod gradi slaganjem slojeva jedan na drugi, odnosno riječ je o aditivnoj (generativnoj) gradnji proizvoda. Pri tome valja napomenuti kako riječ *brzo* (e. Rapid) treba shvaćati uvjetno. Katkad brzo znači nekoliko minuta, a katkad i nekoliko dana, što nipošto nije brzo. [1]

Na osnovi tako postavljene terminologije postupci *brze proizvodnje prototipova* (RP) znače skupinu postupaka za proizvodnju modela i prototipova koji mogu oponašati oblik (geometriju), materijal i funkciju(e) budućih proizvoda. [1]

Postupci *brze proizvodnje alata i kalupa* (RT) primjenjuju se za proizvodnju alata i kalupa ili njihovih najkompliciranijih dijelova za proizvodnju prototipnih ili probnih serija proizvoda uporabom istog procesa proizvodnje kojim će se proizvoditi konačni proizvod. Pri tome se rabi jedan ili više postupaka brze proizvodnje prototipova, a u čitavom se procesu mogu kombinirati i klasični postupci izrade alata i kalupa. [1]

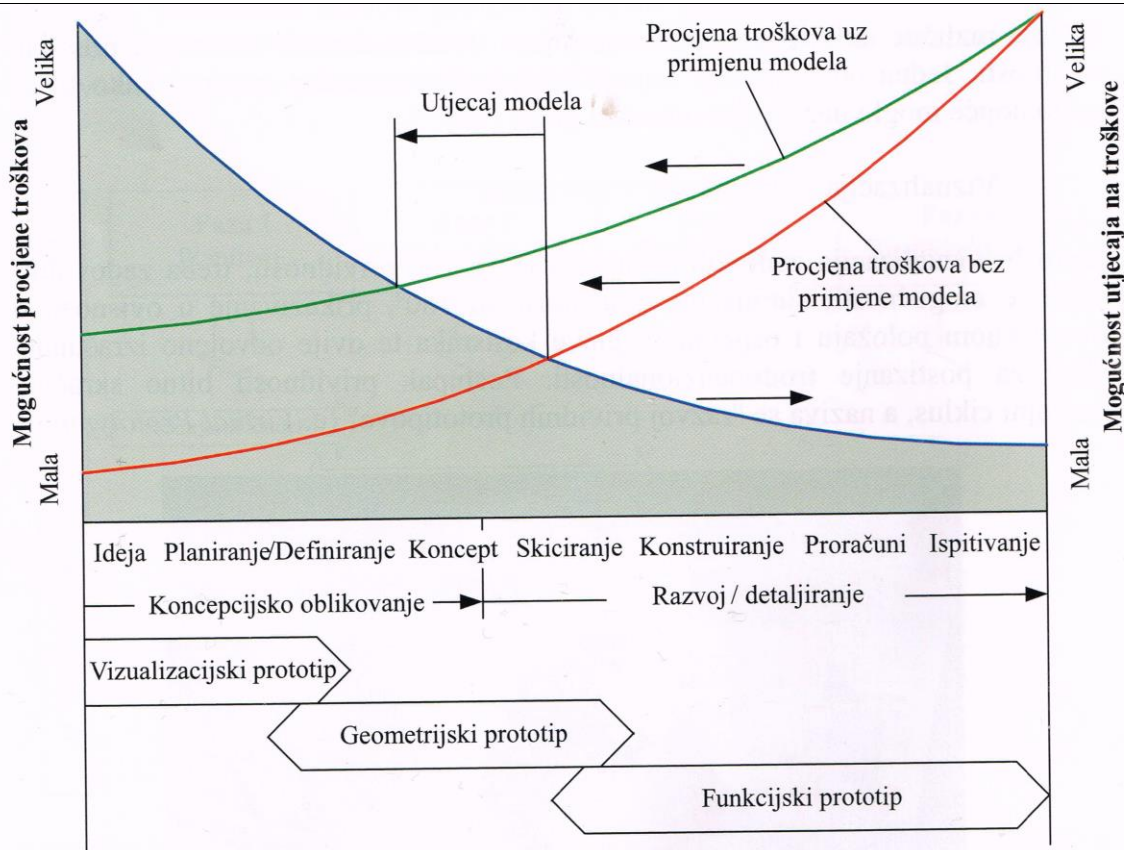
Brza (izravna) proizvodnja (RM) podrazumijeva primjenu postupaka aditivne proizvodnje za proizvod koji će se primijeniti kao i proizvod načinjen u serijskoj proizvodnji. Iako je ovaj segment aditivne proizvodnje još donekle ograničen, prije svega zbog ograničenog broja raspoloživih materijala, trajno se razvijaju novi materijali koji će svakako pridonijeti uporabi aditivne (izravne) proizvodnje u sve više primjena. [1]

Postupci aditivne proizvodnje također mogu biti rješenje za trenutačne trendove masovne prilagodbe zahtjevima kupaca na tržištu. Proizvodne količine (serije) smanjuje se sa sve češćom pojavom novih proizvoda na tržištu. Mnogi kupci žele karakteristične proizvode, koji su namijenjeni samo njima i nikomu drugom (personalizacija proizvoda). Upravo AM postupci ne zahtijevaju izradu alata i kalupa, nije potrebna ni velikoserijska proizvodnja kojim bi se amortizirao trošak izrade alata i kalupa. [1]

S druge strane primjena AM postupaka za izravnu proizvodnju mora zadovoljavati proizvodne zahtjeve kao što su kontrola kvalitete, sljedivost i ponovljivost kvalitete, čemu se posvećuje sve više pozornosti radi približavanja kvalitete proizvoda načinjenih AM postupcima onima načinjenim konvencionalnim postupcima proizvodnje. [1]

2.2.2. Utjecaj uporabe prototipova i modela na ključne čimbenike uspješnosti

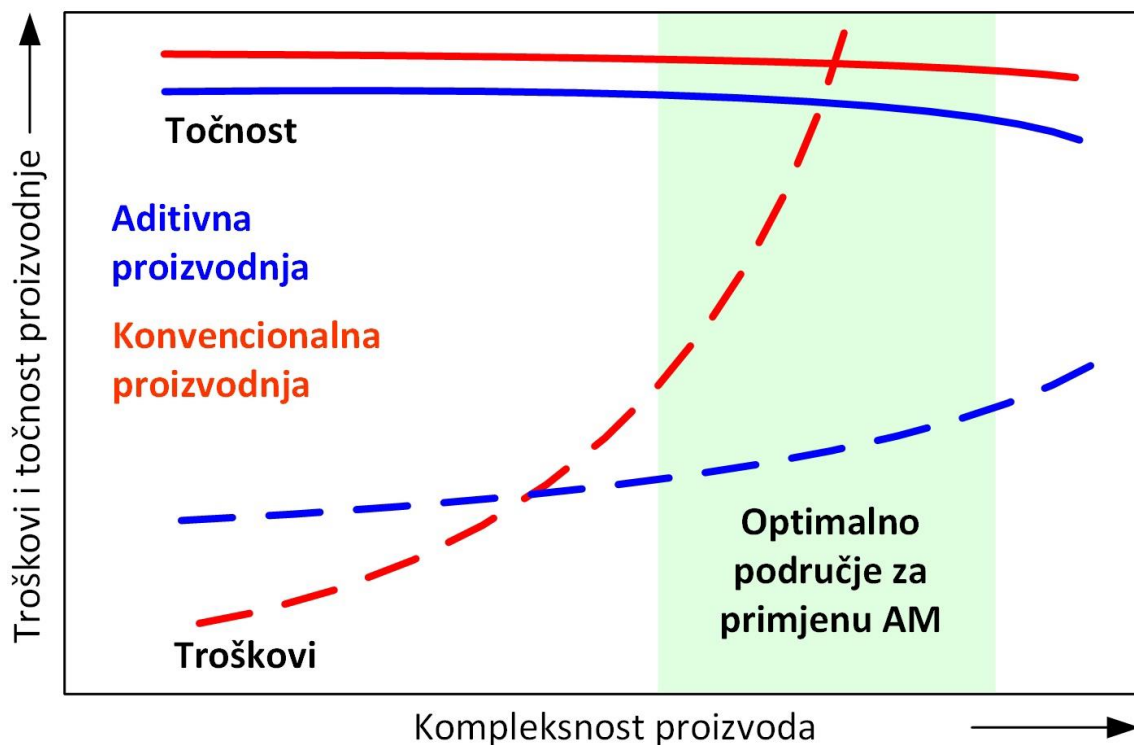
Pri razvoju i proizvodnji novih proizvoda valja biti svjestan činjenice kako uporaba prototipova i modela dodatno financijski opterećuje projekt razvoja i proizvodnje. Stoga njihova uporaba mora biti opravdana. Na slici 3. moguće je vidjeti procjenu troškova i upravljanje troškovima kao funkcije napredovanja procesa razvoja proizvoda. [1]



Slika 3. Procjena troškova i upravljanje troškovima kao funkcije napredovanja procesa razvoja proizvoda [1]

Primjenom modela moguće je troškove razvoja i proizvodnje procijeniti ranije i kvalitetnije, i to u trenutku kada se može još uvijek učinkovito utjecati na troškove. [1]

Načela rada postupaka aditivne proizvodnje omogućuju jednostavnu proizvodnju najzahtjevnijih geometrijskih oblika bez znatnijeg porasta troškova proizvodnje. Stoga se može zaključiti kako opravdanost primjene postupaka aditivne proizvodnje raste s porastom kompleksnosti proizvoda. [1] Na slici 4. vidimo grafički prikaz opravdanosti primjene postupaka aditivne proizvodnje.



Slika 4. Grafički prikaz opravdanosti primjene postupaka aditivne proizvodnje [1]

2.2.3. Mogućnosti primjene postupaka aditivne proizvodnje

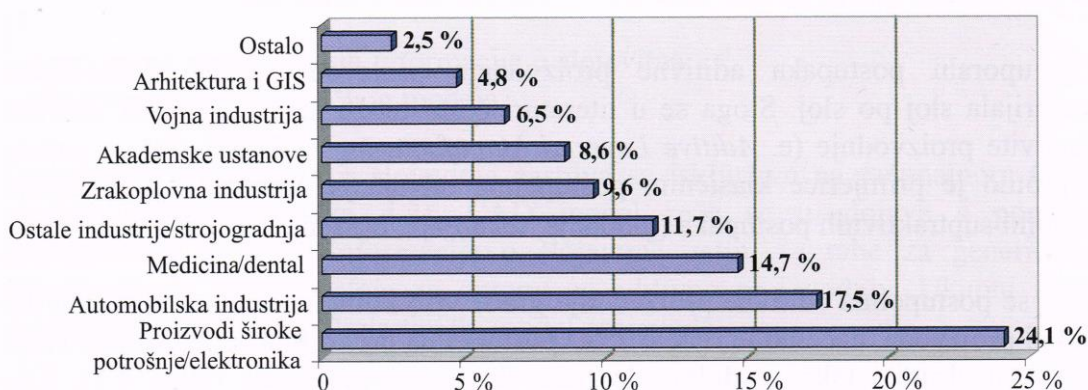
Ignoriranje mogućnosti primjene postupaka aditivne proizvodnje može imati kratkoročne prednosti koje se očituju u sniženim troškovima investiranja u te postupke. Međutim, dugoročno postoji rizik od gubitka položaja na tržištu te nemogućnosti definiranja preciznije cijene proizvoda. [1]

Najveća korist u početku se očekivala od uporabe RP postupaka, no razvojem novih aditivnih postupaka i materijala sve su veća očekivanja od izravne aditivne proizvodnje, koja nosi ponajprije promjene u pristupu proizvodnji i proizvodnim postupcima. Pri tome je prisutan i najveći rizik, jer se i postupci i materijali još intenzivno razvijaju. [1]

Općenito, područja primjene postupaka aditivne proizvodnje radi unaprjeđenja poslovanja, osiguranja učinkovitosti i kvalitete te povišenja dobiti moguće je sažeti kao: proizvodnju konceptijskih modela, vizualizaciju dijelova proizvoda i čitavih sklopova, ispitivanje funkcije proizvoda i mogućnosti uklapanja s ostalim elementima, proizvodnju prototipova za promociju proizvoda i izradu kataloga, proizvodnju prototipova za potrebe razvoja

proizvodnih linija i čelija, proizvodnju prototipova za ispitivanje tržišta, proizvodnju prototipova za razvoj odgovarajućeg pakovanja proizvoda, proizvodnju pramodera za proizvodnju alata i kalupa, izradu elektroda za obradu odvajanjem čestica, izradu kompliciranih kalupnih šupljina za male serije proizvoda, izradu metalnih kalupnih šupljina za veće serije proizvoda, skraćanje isporuke prototipova za manje od pola vremena nego pri klasičnoj izradi te skraćanje isporuke alata i kalupa za oko pola vremena nego pri klasičnoj izradi alata i kalupa. [1]

Uz postupke aditivne proizvodnje prototipova i kalupa, postupci izravne aditivne proizvodnje treći su oblik ostvarenja aditivne proizvodnje, koji se odnosi na izradu manje serije proizvoda postupcima aditivne proizvodnje, i to izravno, bez uporabe posebnog alata. U tom slučaju alat kao uobičajeno sredstvo djelovanja pri praoblikovanju zamjenjuje oprema za brzu proizvodnju prototipova. Na slici 5. vidimo najčešća područja primjene prototipova. [1]



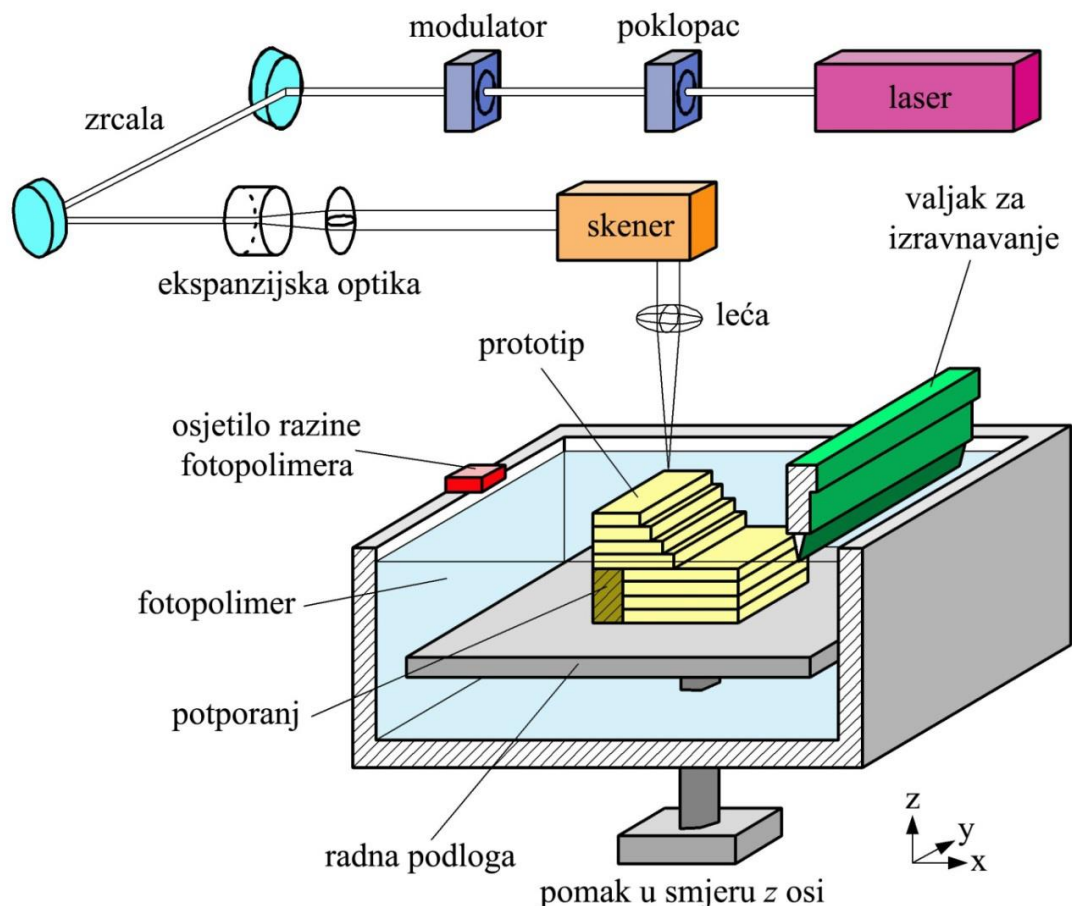
Slika 5. Najčešća područja primjene prototipova [1]

2.3. Postupci aditivne proizvodnje

2.3.1. Stereolitografija

Stereolitografija je jedan od najšire upotrebljivanih postupaka aditivne proizvodnje. Temelji se na konvencionalnim fotolitografskim metodama s UV polimerizacijom. Proizvodi s pomoću postupka stereolitografije nastaju polimeriziranjem niskoviskozne polimerne kapljevine sloj po sloj. Stereolitografijom se uglavnom prerađuju fotopolimeri temeljeni na akrilnim vinilnim ili epoksidnim smolama. Oblik i izmjere proizvoda izravno se na uređaj za stereolitografiju prenose s 3D računalnog modela proizvoda. Pri tome su u uporabi najčešće

sustavi pri kojima se očvršćivanje fotopolimernog materijala ostvaruje laserskim skeniranjem. Uz te sustave razvijeni su sustavi u kojima se rabi propuštanje UV svjetla kroz staklenu masku, poseban projektor UV svjetlosti, kao i glava za tiskanje fotopolimera i očvršćivanje s pomoću UV izvora svjetlosti. Na slici 6. su prikazana načela postupka stereolitografije. [1]



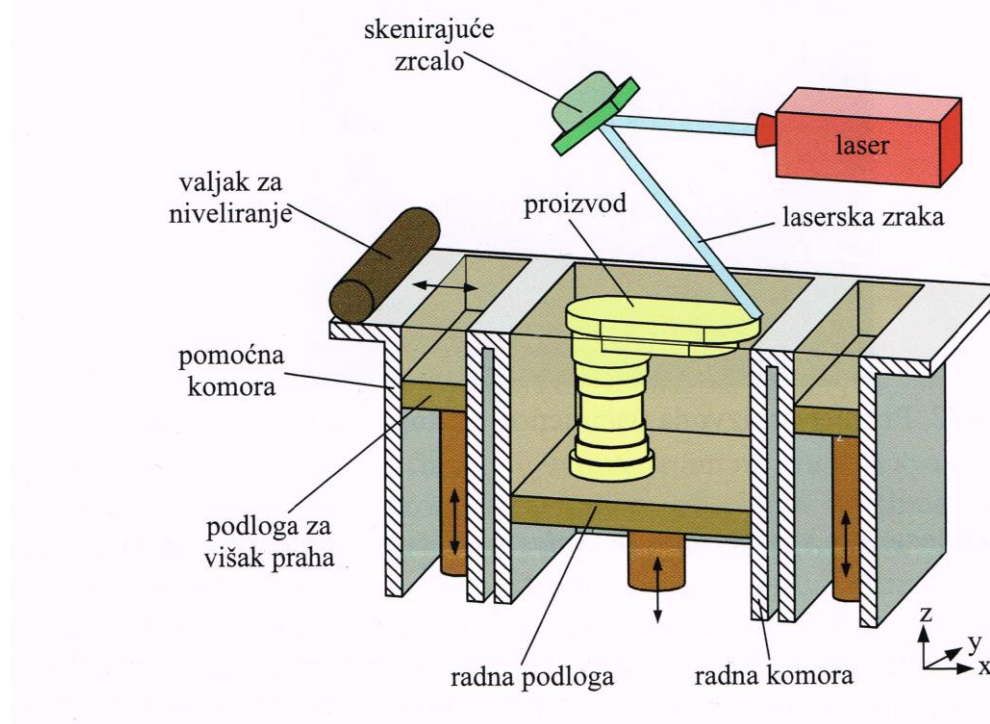
Slika 6. Načela postupka stereolitografije [1]

2.3.2. *Selektivno lasersko srašćivanje (SLS)*

Selektivno lasersko srašćivanje (e. Selective Laser Sintering - SLS) Selektivno lasersko srašćivanje jedan je od najvažnijih postupaka aditivne proizvodnje, patentiran još 1986. godine. Tim je postupkom moguće prerađivati teorijski gotovo sve vrste materijala koji su prerađljivi u praškastom obliku, što je glavna prednost postupka. Međutim, za sada se pri izradi proizvoda najčešće rabe polimerni materijali (PS, PC, PA, PA sa staklenim vlaknima, PVC, elastomeri), keramika, voskovi te metalni prahovi. Pri pravljenju metalnih proizvoda najčešće se rabe metalni prahovi s polimernim vezivima i metalnim vezivima te jednokomponentni prahovi (bez veziva). Kada je riječ o prahovima s polimernim vezivima,

vezivo se odstranjuje izgaranjem u postupku naknadne obrade, čime se dobivaju porozni proizvodi. Gustoća takvih proizvoda zatim se u novom ciklusu naknadne obrade povisuje prodirlanjem uglavnom bakra, pri čemu se postiže gustoća proizvoda veća od 90%. [1]

SLS postupak sličan je stereolitografiji. Razlika je u tome što se pri SLS postupku praškasti materijali. Čitav SLS postupak odvija se unutar grijane komore ispunjene inertnim plinom, kao što je dušik, kako bi se smanjila neželjena interakcija materijala s atmosferom. Plin je zagrijan na temperaturu blisku talištu materijala, pa pri gradnji proizvoda laser treba osigurati samo dio toplinske energije kako bi osigurao spajanje pojedinih slojeva proizvoda. Time se postižu bitno kraća vremena izrade proizvoda, a smanjene su i njegove deformacije. Pri SLS postupku laserska zraka reflektira se o zrcalo za usmjeravanje zraka i ocrtava oblik sloja proizvoda po praškastome materijalu smještenom u posebnom spremniku. Na slici 7. prikazana su načela postupka selektivnog laserskog srašćivanja. [1]



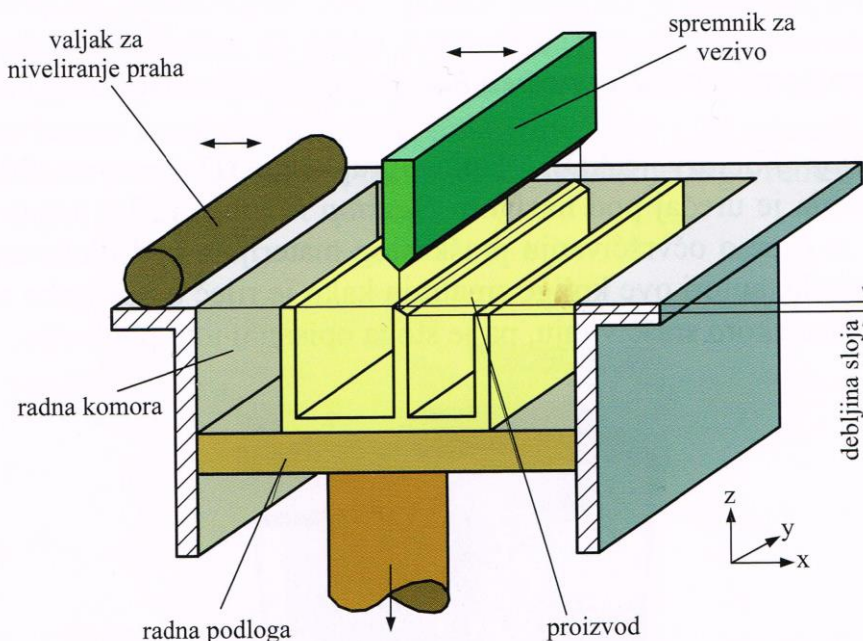
Slika 7. Načela postupka selektivnog laserskog srašćivanja [1]

2.3.3. 3D tiskanje

Postupak 3D tiskanja pripada skupini brzih postupaka aditivne slojevite proizvodnje, a patentirao ga je MIT (e. Massachusetts Institute of Technology) 1989. godine. Riječ je o vrlo

brzom, pouzdanom i jeftinom postupku koji omogućuje izradu 3D proizvoda na temelju računalnih modela u uredskim uvjetima (nema razvijanja otrovnih tvari tijekom procesa). [1]

Temeljno načelo postupka je povezivanje čestica praha vezivom koje se nanosi na prah ink-jet mlaznicama. Kako se vezivo i prah nanose u slojevima, proizvod se gradi sloj po sloj. 3D pisac sastoji se od okomito pokretne podloge s prahom, podloge za izradu proizvoda, spremnika za smještaj suviška materijala, valjka za nanošenje novog sloja praha i ink-jet glave s mlaznicama, pomične u smjeru osi x i y. U prvom se koraku s pomoću valjka za nanošenje spojenog na glavu s mlaznicama, prah s prve podloge nanosi na podlogu za pravljenje proizvoda. Višak praha pada u spremnik za višak materijala. Tijekom povratnog gibanja mehanizma, s pomoću mlaznica se u obliku kapljica nanosi vezivo na prethodno nanoseni prah, čime se postiže povezivanje čestica praha. Nakon završetka jednog sloja podloga se spušta i postupak se ponavlja. Koraci se ponavljaju sve do konačne izrade proizvoda. Na slici 8 prikazana su načela rada postupka 3D tiskanja. [1]



Slika 8. Načela rada postupka 3D tiskanja [1]

2.3.4. Postupci aditivne proizvodnje temeljeni na ekstrudiranju

Postupci aditivne proizvodnje iz ove skupine za nanošenje slojeva materijala rabe mlaznice koje su vrlo slične glavama ekstrudera. Pri tome se njihovim pomacima upravlja računalom. Valja istaknuti kako se u velikom broju literaturnih izvora, ali i kod samih proizvođača opreme iz ove skupine, vrlo često postupci temeljeni na ekstrudiranju pogrešno svrstavaju u skupinu postupaka trodimenzijskog tiskanja. [1]

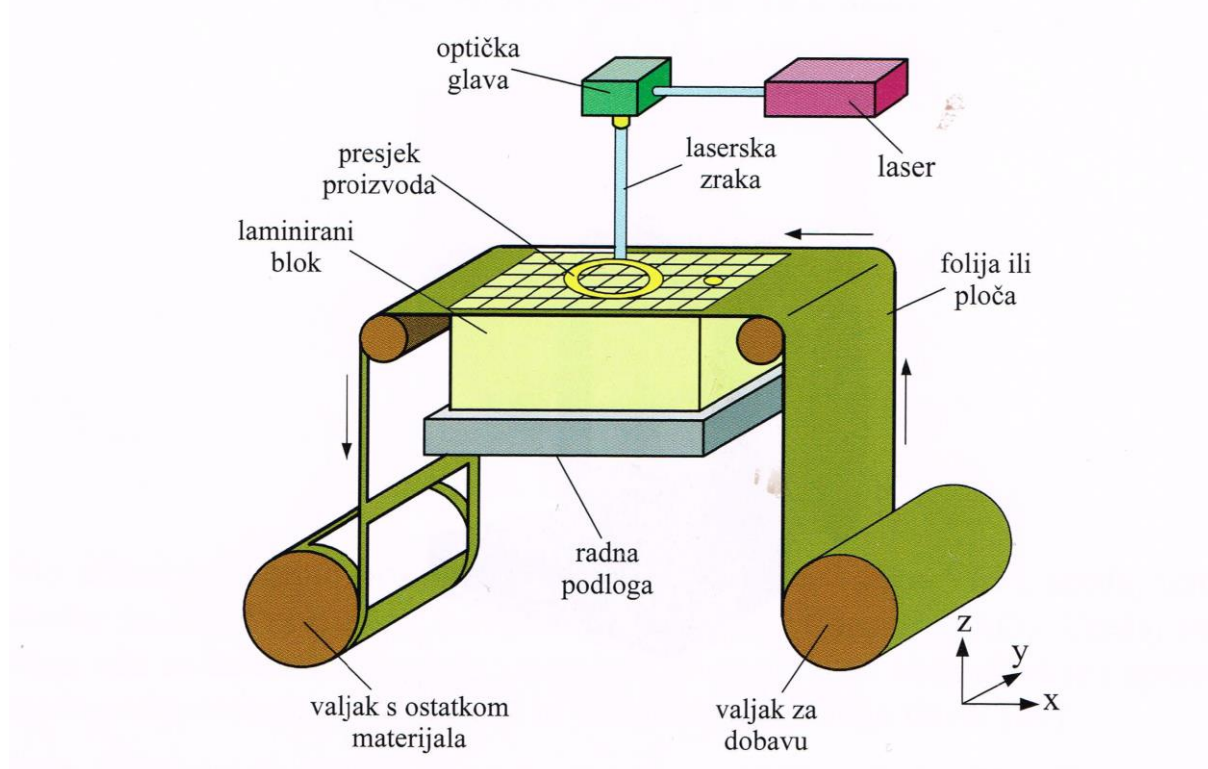
2.3.5. Slojevita izrada laminiranjem

Postupak slojevite izrade proizvoda laminiranjem (LLM) često se u praksi naziva i izradom objekata laminiranjem (e. Laminated Object Manufacturing LOM), no kratica LOM izravno se povezuje s postupkom laminiranja razvijenim u tvrtki Hellsys (SAD). Stoga je općenito za skupinu postupaka izrade proizvoda laminiranjem pravilnija uporaba kratice LLM. [1]

Postupci laminiranja temelje se na uporabi CO₂ lasera, s pomoću kojega se reže prethodno laminiran materijal modela prema unaprijed računalno definiranom obliku poprečnog presjeka proizvoda. [1]

Iz tog opisa slijedi kako je riječ o kombinaciji aditivnog postupka i postupka odvajanja. Pri tome se proizvodi laminiranjem mogu izrađivati od papira, polimernih filmova i folija, kompozita s epoksidnom matricom i staklenim ojačavalima te od metalnih ploča. Slojevi se većinom povezuju adhezivima, pri čemu su najčešća dva rješenja. U jednome je gradivni materijal prevučen polietilenskim adhezivom, a u drugome se adheziv dodaje tijekom samog postupka laminiranja. [1]

Pri uporabi LLM postupaka laserom se izrezuju samo konturne linije proizvoda na pojedinom sloju uz rasteriziranje ostatka radnog dijela površine. Stoga, u usporedbi s postupcima u kojima laser mora "skenirati" čitavu površinu sloja proizvoda, prednost primjene LLM postupaka raste s povećanjem veličine proizvoda. Zato je skupina LLM postupaka pogodna za izradu proizvoda većih izmjera. Dodatna je prednost tih postupaka relativno jeftin gradivni materijal. Na slici 9. prikazana su načela rada postupka laminiranja. [1]



Slika 9. Načela rada postupka laminiranja [1]

Postupci laminiranja rabe se ponajprije za izradu reproduksijskih prototipova. Osim toga mogu se rabiti u raznim 3D postupcima izrade prototipova kao pramodeli za izradu kalupa (uglavnom za lijevanje). Pri tome valja voditi računa su ti modeli mnogo čvršći u smjeru okomitom na slojeve nego u smjeru slaganja slojeva. [1]

3. INJEKCIJSKO PREŠANJE

To je najvažniji ciklički postupak preradbe polimera, a prema dostignutoj razini i najusavršeniji. Injekcijskim se prešanjem prerađuju svi polimeri: duromeri, elastomeri, elastoplastomeri, a posebno je proširena preradba plastomernih taljevina. Prema prerađenim je količinama injekcijsko prešanje polimera odmah iza ekstrudiranja. Istodobno, može se smatrati da je i tlačno lijevanje metala inačica injekcijskoga prešanja (vrijedi i obrat). Injekcijskim se prešanjem danas prerađuju i keramičke smjese, kombinacije različitih materijala (npr. plastika, metal i keramika), pa i žive stanice. Stoga je do sada zabilježeno najmanje 240 inačica toga postupka. [5]

Još u 19. stoljeću susreću se rješenja strojeva koji omogućuju injekcijsko prešanje prirodnih, modificiranih plastomera (npr. nitroceluloze. Suvremena proizvodnja, najprije klipnih ubrizgavalica, počinje patentom Nijemca Eichengrūna (1919.). Uočivši prednosti celuloznog acetata, on je razvio prvu ubrizgavalicu za preradbu plastomernih taljevina, primijenivši načelo tlačnog lijevanja lakih i obojenih metala, poznato iz 1843. Francuz R. Quiellery patentira 1938. ubrizgavalicu s pužnim vijkom za preradbu kaučukovih smjesa, a godine 1943. Nijemac H. Beck za preradbu plastomernih taljevina. Do bitne promjene u koncepciji gradnje ubrizgavalica dolazi 1956., kada njemačka tvrtka Ankerwerk (danas Demag) uspijeva proizvesti prvu komercijalnu ubrizgavalicu s jednim pužnim vijkom. To načelo i danas prevladava i trenutno nema alternative. [5]

Ostala rješenja ubrizgavalica tehnički su zanimljiva, ali su od male praktične vrijednosti. Osnovno obilježje suvremene opreme za injekcijsko prešanje je visok stupanj automatiziranosti, posebno ubrizgavalica, te najsuvremenije vođenje procesa, najčešće temeljeno na mikro procesorima i primjeni računala. U Hrvatskoj je tijekom druge polovine 20. stoljeća postojao industrijski proizvođač ubrizgavalica, a proizvodile su se i obrtnički; danas se ubrizgavalice isključivo uvoze. Dio potrebnih kalupa za ovaj postupak izrađuje se u Hrvatskoj. [5]

3.1. Definicija i postupci injekcijskog prešanja

Injekcijsko prešanje polimera ciklički je postupak praoblikovanja ubrizgavanjem polimerne tvari smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu. Tvorevina, otpresak, postaje polireakcijom i/ili umreživanjem, geliranjem i/ili hlađenjem podobnom za vađenje iz kalupne šupljine. [5]

Otpresci mogu biti različitih veličina, mase manje od miligrama do približno 180 kg. Najmanji poznati plastomerni otpresak namijenjen je za medicinske svrhe, a njih 7,25 milijuna ima masu od 1 kg. Najveći otpresak je mase veće od 180 kg. Injekcijsko prešanje prikladno je za proizvodnju vrlo kompliciranih otpresaka, visoke dimenzijske stabilnosti (tolerancije od nekoliko mikrometara). Zbog dostignutoga visokog stupnja automatiziranosti, moguća je neprekinuta proizvodnja dvadeset i četiri sata na dan, sedam dana u tjednu. Moguće je načiniti otpreske u više boja, kombinaciju krutoga i savitljivoga dijela otpreska (tvrdo-meko), integralne pjenaste tvorevine itd. [5]

Injekcijski se mogu prešati niskoviskozne kapljevine (npr. epoksidne smjese ili smjese za proizvodnju integralnih poliuretanskih pjenastih tvorevina) ili polimerne taljevine (povišena smična viskoznost). [5]

3.2. Linija za injekcijsko prešanje

Za postupak injekcijskog prešanja potrebna je preradbena linija koju čine sustav za injekcijsko prešanje i dopunska oprema. Dopunska oprema povisuje djelotvornost procesa, a sastoji se od elemenata rukovanja tvarima i/ili materijalom i proizvodom (oprema za transport). Svaki sustav za injekcijsko prešanje mora ispunjavati ove funkcije: priprema tvari pa viskoznosti, ubrizgavanje i stvaranje praoblika tvorevine pri propisanoj temperaturi kalupne šupljine. Pri preradbi polimernih materijala (plastomerne taljevine i elastoplastomeri) dolazi samo do promjene stanja materijala, čvrsto-kapljivito-čvrsto, što se ostvaruje geliranjem i/ili hlađenjem. Pri preradbi plastomernih monomera, duromernih tvari i kaučukovih smjesa, očvršćivanje tvari u potreban geometrijski oblik otpreska povezano je s kemijskim reakcijama polimeriziranja i/ili umrežavanja. Pri injekcijskom prešanju metalnih

čestica i keramičkih smjesa iz kalupa se vadi zeleni otpresak, zelenac. Zatim slijedi uklanjanje polimernoga veziva i očvršćivanje sraščivanjem. [5]

Sustav za injekcijsko prešanje (SIP) je umjetan, realan i relativno izdvojen, što znači da je sustav ulazima i izlazima povezan s okolinom, ali su te veze slabije od onih među elementima sustava. Zatim je moguće sustav za injekcijsko prešanje okarakterizirati kao dinamički, kontinuiran i nelinearan, stohastički, stabilan, s povratnim vezama. Istodobno je riječ o fleksibilnom, kompliciranom i kompleksnom sustavu. [5]

Moguće je modelno prikazivanje sustava potrebnoga za injekcijsko prešanje, koji čine ubrizgavalica, kalup i temperiralo kalupa. Pri sustavnoj raščlambi injekcijskoga prešanja kao važne čimbenike treba uzeti u obzir i utjecaje okoline: temperatura, vlažnost (sušenje polimera) i tlak okolnog zraka. [5]

Za uspješan tijek procesa (tok tvari i energije) najvažniji je informacijski ulaz, oblik i kompleksna masivnost otpreska, a određuje vrstu materijala pogodnog za izradbu otpreska, količinu potrebne preradbene energije i usklađenost svih uvjeta preradbe. [5]

3.3. Nedostaci u obliku, izmjerama i masi otpreska

Zbog mnogobrojnih razloga stvarni otpresak odstupa po svom obliku, izmjerama i masi od zamišljenog otpreska. Pri promatranju odstupanja izmjera potrebno je najprije razlučiti dva bitna pojma, točnost i preciznost otpresaka. [5]

3.4. Točnost i preciznost otpreska

Točnost se mjeri veličinom sustavne greške, koja je neovisna o slučaju i uvijek djeluje u jednom smislu (+ ili-). [5]

Sustavnu je grešku moguće otkloniti korekcijskim mjerama. Preciznost je funkcija slučajnih grešaka i označuje sposobnost ponavljanja (reprodukcije) postupka. Slučajne greške zavise samo od slučaja i s jednakom vjerojatnošću djeluju u smislu (+). Slučajne se greške mogu smanjiti, ali ne i izbjeći. Njihova veličina određuje se statističkim metodama. [5]

Pri injekcijskom prešanju plastomera, što vrijedi inače i kod ostalih postupaka preradbe polimera postupcima prešanja, srednja vrijednost izmjera ovisi o termodinamičkim odnosima u kalupu (dijagram p-v-T) te naknadnim promjenama izmjera otpreska izvan kalupa, to jest naknadnom skupljanju, upijanju vlage itd. Ako se poznaju termodinamičke zakonitosti i naknadne vremenske promjene izmjera otpreska zbog skupljanja, odstupanje mjera može se otkloniti korekcijskim izmjenama izmjera kalupne šupljine (dodavanjem ili oduzimanjem pojedinih izmjera) Preciznost je moguće povisiti samo uporabom jednoličnijeg materijala, primjenom odgovarajuće opreme i boljim vođenjem procesa. [5]

3.5. Nedostaci u strukturi i izgledu otpreska

Uporabnu vrijednost otpreska snižavaju i nedostaci u strukturi te izgledu otpreska. Strukturni nedostaci odnose se na odstupanja strukture otpreska od potrebnoga uporabnog stanja. Ta su odstupanja obično mehanička naprezanja. Ako ta naprezanja utječu na izgled otpreska, radi se o nedostacima u izgledu. Napukline (risovi), mjesta prijeloma i slojeviti prijelomi posljedice su nedopušteno visokih napetosti. Nedostaci su u izgledu unutrašnjosti otpreska (ponikve), oštećenja površine ili linije tečenja. Ti nedostaci posljedica su uvjeta preradbe pa se analizom procesa i njegovih parametara zaključuje o vrsti i veličini nedostataka. Nedostaci u strukturi i izgledu rezultat su kompleksnih interakcija koje se javljaju pri preradbi, jer se tijekom procesa dovodi i odvodi energija. Ako se poremeti ravnoteža, dolazi do latentnih naprezanja. Kako idealno ravnotežno stanje nije moguće postići, zbog svojstava plastomera i mogućnosti dovodenja i odvođenja energije, javljaju se nedostaci u strukturi i izgledu. Uzroci tih pojava su kompleksni i moguće ih je podijeliti u tri skupine [5]:

- promjene u molekularnoj strukturi
- spriječeno toplinsko stezanje (volumna kontrakcija) - napetosti
- orijentacija i spriječen relaksacija.

3.5.1. Promjene molekularne strukture

Kod nekih amorfnih plastomera kao što su PS, PVC, PMMA i PC, može doći do povećanja stezanja zbog promijenjene molekularne strukture. To je stezanje, ovisno o temperaturnim gradijentima i orijentaciji, usmjereno i utječe na različitost svojstava u međusobno okomitim smjerovima. [5]

3.5.2. Napetosti

Zbog različitih brzina hlađenja pojedinih slojeva otpreska, toplinsko stezanje je nejednolično. To dovodi do promjene ravnotežnog položaja atoma i deformacije valencijskih kutova u lancima molekula, a deformacije su elastično-energijske prirode. Time je izazvano mehaničko naprezanje koje djeluje u otpresku bez djelovanja opterećenja, a naziva se napetost. [5]

Napetosti nastaju na sljedeći način. Taljevina u dodiru s površinom kalupne šupljine naglo očvrstne i stvara se tanka ljuska, čime je spriječeno toplinsko stezanje još relativno tople jezgre. To dovodi do pojave rasteznih naprezanja u unutrašnjosti otpreska i pritiskih u očvrstnutoj ljusci. Dio napetosti potječe od spriječenog stezanja zbog geometrije otpreska, efekta stlačivanja ili kod kristalastih plastomera zbog različitog stupnja kristalnosti, izazvanoga razlikom u gustoći otpreska. Ako su napetosti neuravnotežene, dolazi do vitoperenja otpreska. Napetosti su posebno izražene u kutovima, bridovima i na mjestima promjene presjeka otpreska. [5]

Temperatura stijenke kalupne šupljine osobito intenzivno utječe na napetosti. Njezinim sniženjem i povećanjem temperaturnoga gradijenta između temperature taljevine i temperature stijenke kalupne šupljine, raste udio napetosti. Utjecaj temperature taljevine, brzine ubrizgavanja i naknadnog tlaka na stvaranje napetosti je zanemariv. [5]

4. ČITAČ QR KODOVA – QrBox

4.1. O QrBox-u

QR kod osmišljen 1994. godine u Toyotinoj podružnici zamišljen kao naljepnica koja se lijepila na pojedine dijelove na proizvodnoj traci u pogonu. Tijekom godina postao je popularan izvan automobilske industrije kao sredstvo za identificiranje predmeta, lokacija, praćenje vremena i upravljanje dokumentima. Svoju popularnost je stekao zbog veće sposobnosti za pohranjivanje podataka od standardnog UPC crtičnog koda. Najpopularnija primjena danas je za pohranjivanje poveznica na Internet stranice gdje se nakon skeniranja QR koda ta stranica otvori u pregledniku mobitela.

Na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu na Katedri za tjelesnu i zdravstvenu kulturu se od samih početaka vođenje evidencije dolazaka studenata na nastavu vodi ručno, pomoću papira i olovke. Zbog izrazito velikog broja studenata, i konstantne tendencije povećanja broja istih, 2016. godine odlukom Katedre uveli smo QrStudent sustav.

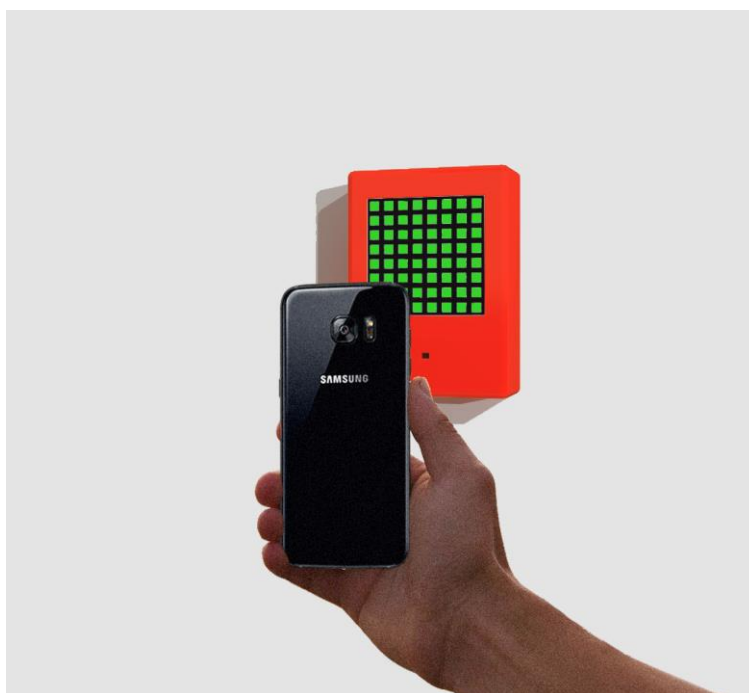
Qr Student sustav koristi tehnologiju QR kodova kako bi učinkovito, točno i izrazito brzo vodio evidenciju dolazaka studenata na nastavu na više lokacija istovremeno. Sustav se sastoji od servera i aplikacija s podrškom za Android i iOS operativne sustave. Svakom studentu pri upisu je dodijeljen Jedinostveni Matični Broj Akademskog Građanina, odnosno JMBAG. Samo ime govori da je taj broj jedinstven za svakog pojedinog studenta što ga čini idealnim za korištenje unutar sustava za evidenciju dolazaka.

Svakom studentu je dodijeljen njegov jedinstveni QR kod prema njegovom JMBAG-u. Student dolaskom na nastavu daje svoj QR kod nastavniku na uvid koji onda skeniranjem tog koda zabilježi studentov dolazak na točno određeni termin, u točno određeno vrijeme preko aplikacije na svome mobilnom uređaju. Odmah nakon skeniranja dolazak je dostupan i vidljiv studentu tako da je transparentnost dolazaka na najvišoj mogućoj razini.

Pomoću web sučelja profesor je u mogućnosti postaviti određene uvjete dolaznosti na nastavu koje studenti moraju ispuniti tijekom semestra, a ti isti uvjeti su prikazani studentima u njihovoj verziji aplikacije. Jedna od prednosti korištenja QR kodova za sustav za vođenje evidencije dolazaka na nastavu je što studenti u bilo kojem trenutku mogu pristupiti svome QR kodu s bilo kojeg uređaja prijavom putem svojeg AAI@EduHr identiteta ili mogu donijeti QR kod u tiskanom obliku. Na ovaj način je moguće izbjeći probleme s zaboravljanjem dokumenata koje sustavi, koji koriste npr. x-ice, imaju.

S obzirom da je trenutačno moguće skenirati QR kodove isključivo s pomoću mobilnih uređaja, koji nisu uvijek praktični, potrebno je razviti infrastrukturu za skeniranje istih koja bi se mogla postaviti na zid, odnosno QrBox. QrBox se sastoji od Raspberry Pi 3B+ računala, LED ekrana, pripadajuće Raspberry Pi kamere i kućišta čije je konstruiranje i izrada predmet ovog rada.

U trenutku kada se QR kod približi uređaju koji je postavljen na ulaz u određenu prostoriju ili dvoranu kamera očitava JMBAG iz QR koda, taj JMBAG se procesira na Raspberry Pi računalu koje onda paralelno na ekranu ispisuje povratnu informaciju je li skeniranje prošlo uredu i šalje putem Internet veze, žične ili bežične, informaciju o skeniranom QR kodu na server. Prikaz očitavanja QR koda s mobilnog uređaja vidimo na slici 11.



Slika 10. Prikaz očitavanja QR koda s mobilnog uređaja

Na serveru se utvrđuje na koji termin taj određeni QrBox skenira dolaske i studentu se zapisuje dolazak ukoliko je sve uredu. Nastavnik je u mogućnosti pristupiti i uključiti skeniranje na bilo koji termin na bilo kojem postavljenom QrBox-u putem Android i iOS mobilnih aplikacija. Isto tako nakon uključjenja skeniranja na određenom QrBox-u nastavnik je putem mobilne aplikacije u stanju vidjeti ime, prezime, JMBAG i sliku skeniranog studenta.

4.2. Područje primjene QrBox-a

QrBox će biti isključivo namijenjen za implementaciju s QrStudent sustavom kao prateća infrastruktura, iako je područje primjene QrBox-a puno šire. Cilj je razviti QrBox do razine gdje će se moći prodavati odvojeno. Komponente unutar QrBoxa dopuštaju bilo kome, tko se razumije u računalno programiranje, da napiše svoj sustav i koristi QrBox kao svoju infrastrukturu.

Isto tako, u QrBox je moguće dodati i RFID čitač koji se može spojiti na Raspberry Pi koji bi onda mogao čitati i jako rasprostranjene RFID kartice. Jedna od prednosti razvoja i izrade kućišta FDM postupkom je mogućnost prilagodbe kućišta u kasnijim fazama nadogradnje uređaja.

5. KONSTRUIRANJE I IZRADA KUĆIŠTA ČITAČA QR KODA POSTUPKOM ADITIVNE PROIZVODNJE

5.1. Pravila modeliranja u aditivnoj proizvodnji

Kao i kod svih proizvodnih postupaka, tako i kod aditivnih postupaka postoje neka pravila kojih se treba pridržavati kako bi model iz računala bio što vjernije i kvalitetnije načinjen postupcima aditivne proizvodnje. [4]

5.1.1. *Pravila modeliranja s obzirom na injekcijsko prešanje*

Konvencionalni postupci preradbe polimera sadrže veliki broj ograničenja i pravila u svrhu izradbe proizvoda zadovoljavajuće cijene i zadovoljavajuće kvalitete. Primjerice, neka od pravila oblikovanja s obzirom na postupak injekcijskog prešanja su [4]:

- postići što jednolikije debljine stijenke kako bi se minimizirala vitoperenja uleknuća
- izbjegavati oštre rubove i bridove kako bi se smanjila
- koncentracija naprezanja i poboljšalo tečenje materijala tijekom preradbe
- uzeti u obzir stezanje polimernog materijala hlađenjem kako bi se postigla dimenzijska točnost
- izbjegavati nagle prijelaze u debljinama stijenki
- izbjegavati gomilanje masa
- izbjegavati podreze
- osigurati potrebna skošenja u smjeru vadenja otpreska iz kalupne šupljine
- dimenzije i volumen otpreska ne smiju prijeći određene vrijednosti određene veličinom kalupa i ubrizgavalice.

Aditivni postupci uklonili su neka od ovih ograničenja. Budući da se tijekom aditivnog postupka proizvod izgrađuje sloj po sloj s topivom ili odvojivom potpornom strukturom, mogu se postići kompleksne konstrukcije kakve nisu moguće postići postupkom injekcijskog prešanja. Nema potrebe za skošenjima jer nema kalupa iz kojeg se vadi proizvod. [4]

Debljina stijenke može varirati. Mogu se postići i oštri kutovi, ovisno o geometriji. Stezanje se automatski uračunato prilikom analize CAD datoteke u računalnom softveru. Uleknuća se rijetko javljaju zbog mogućnosti postavljanja potporne strukture za različite debljine stijenki.[4]

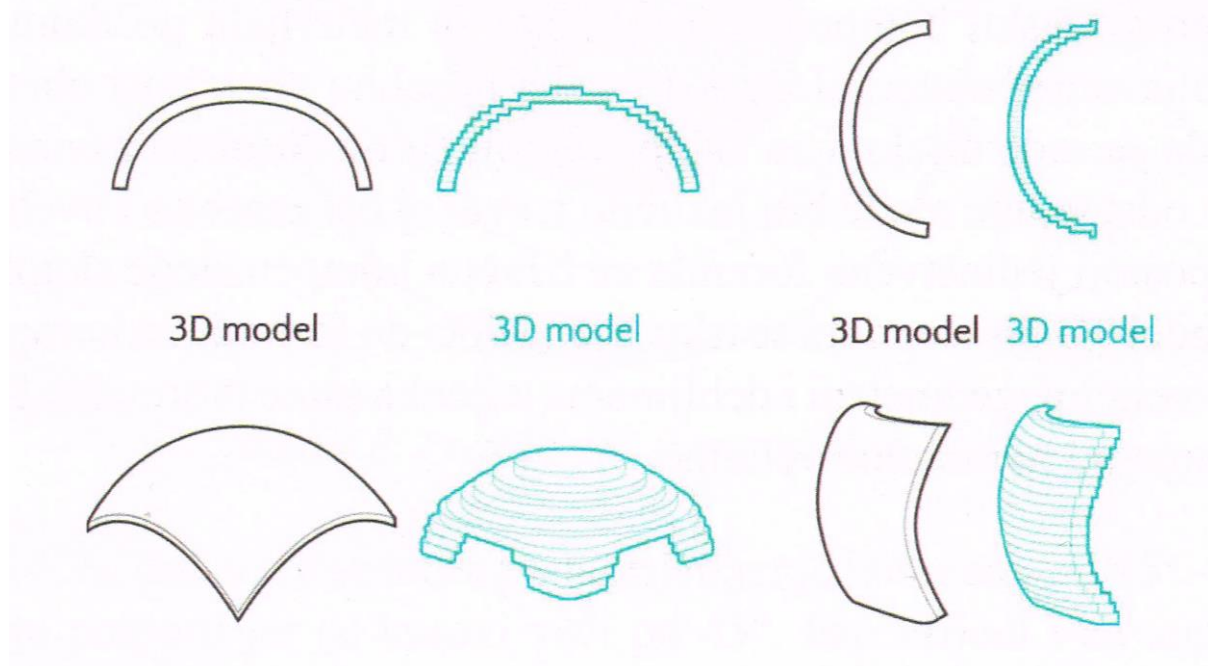
Konačno, velike dimenzije proizvoda mogu se razdijeliti u više komada, te nakon izradbe spojiti, čime se eliminira ograničenje veličine proizvoda. Aditivna proizvodnja pruža mogućnost stvaranja vrlo kompleksnih heterogenih struktura koje se ponekad mogu teško predložiti jer bi njihova proizvodnja konvencionalnim načinima bila izuzetno skupa. [4]

5.1.2. Pravila konstruiranja kod aditivne proizvodnje

Kod konstruiranja modela za aditivnu proizvodnju važno je obratiti pozornost na [4]:

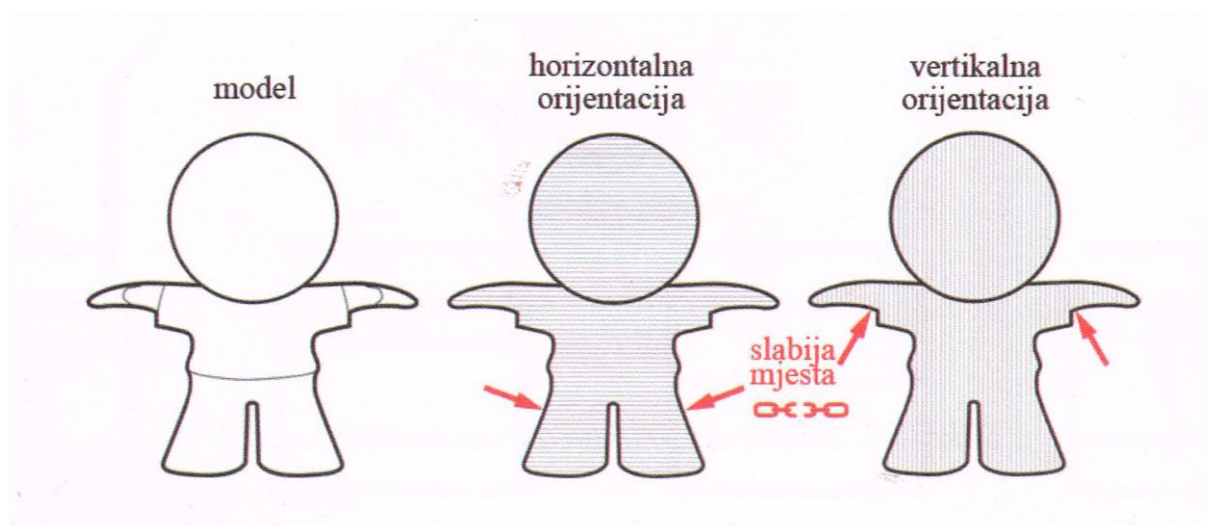
- Debljinu stijenke
- Kvalitetu površine i orijentaciju
- Anizotropiju
- Dimenzijsku točnost
- Podlogu
- Potpornu strukturu
- Zračnost između pomičnih dijelova
- Sklopove
- Rebrasta i ostala ukrućenja
- Vitoperenje
- Navoje
- Oštre kutove i bridove
- Rastavljanje u dijelove
- Izradu STL datoteke i moguće greške

Kako bi se izbjegla krhkost modela preporuča se odabir stijenke minimalno dva ili tri puta veće debljine od promjera mlaznice na glavi za ispisivanje, a općenito se ne preporuča debljina stijenke manja od 1mm. Kod postavljanja uređaja za ispis važno je obratiti pozornost na postavljanje modela u prostoru, odnosno na orijentaciju modela. Slika 11. prikazuje utjecaj orijentacije na kvalitetu 3D ispisa. [4]



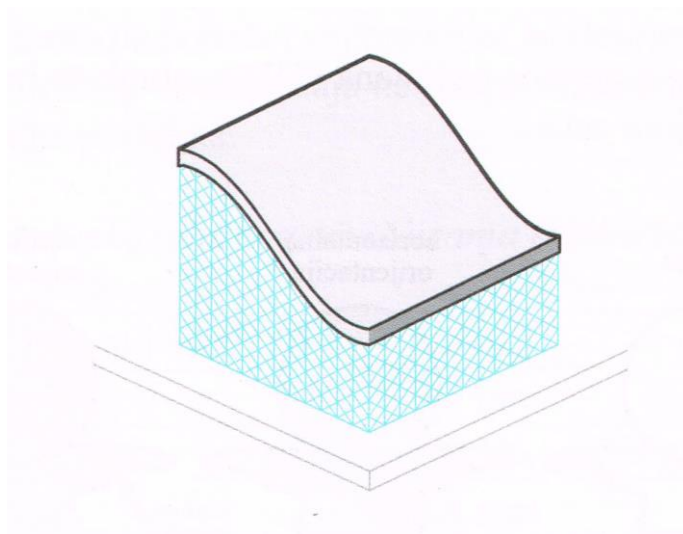
Slika 11. Utjecaj orijentacije na kvalitetu 3D ispisa [4]

S obzirom da se model izrađuje sloj po sloj javlja se anizotropija. To znači da model ima različita svojstva u raznim smjerovima. Na slabim točkama može doći do pucanja tankih dijelova, stoga treba izbjegavati mjesta na modelu koja su paralelna s bazom ili donjom ravninom i koja zahtijevaju potporu kako ne bi pukla. Slika 12. prikazuje anizotropiju. [4]



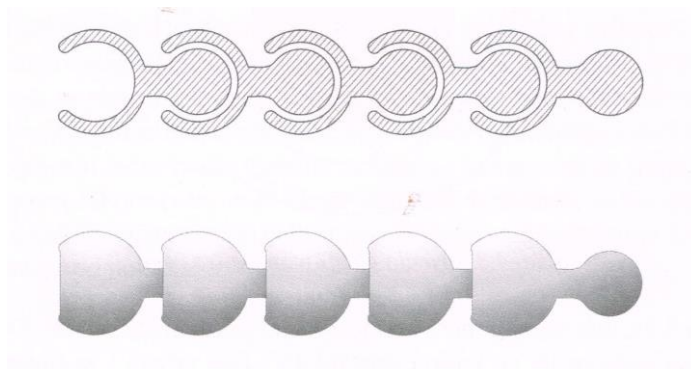
Slika 12. Anizotropija [4]

Kod ispisa na tzv. niskobudžetnim pisačima posebnu pozornost valja obratiti na dimenzijsku točnost. Ukoliko se upotrebljava materijal ABS valja pripaziti na moguće dimenzijsko odstupanje koje može biti različito u svakoj osi zasebno. Takva odstupanja onda utječu na sklopne dijelove koji su međusobno zavisni u funkcionalnosti sklopa. Ne postoji jedinstvena formula kojom bi se mogla izračunati kompenzacija za takva dimenzijska odstupanja pa se mora iskustveno doći do te formule, što često puta rezultira procesom pokušaja i pogreške. Kod modela koji se stvaraju u zraku nužna je potporna struktura kako se model ne bi urušio. Potporna struktura prikazana je na slici 13. [4]



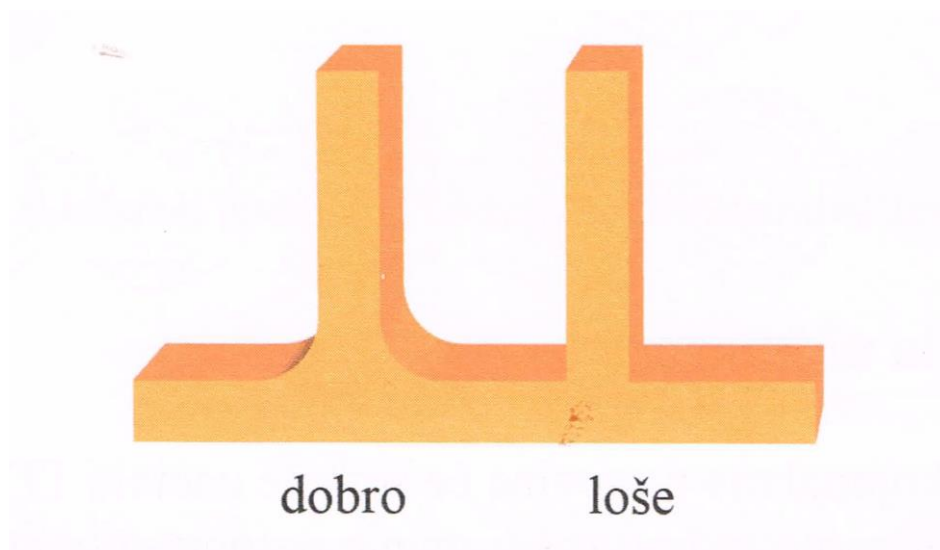
Slika 13. Potporna struktura [4]

Kod sklopnih dijelova važna je zračnost koja omogućuje njihovo sklapanje. Minimalna zračnost potrebna za dijelove sklopa je jednaka toleranciji FDM stroja. Na slici 14. prikazan je primjer zračnosti u sklopu. [4]



Slika 14. Zračnost u sklopu [4]

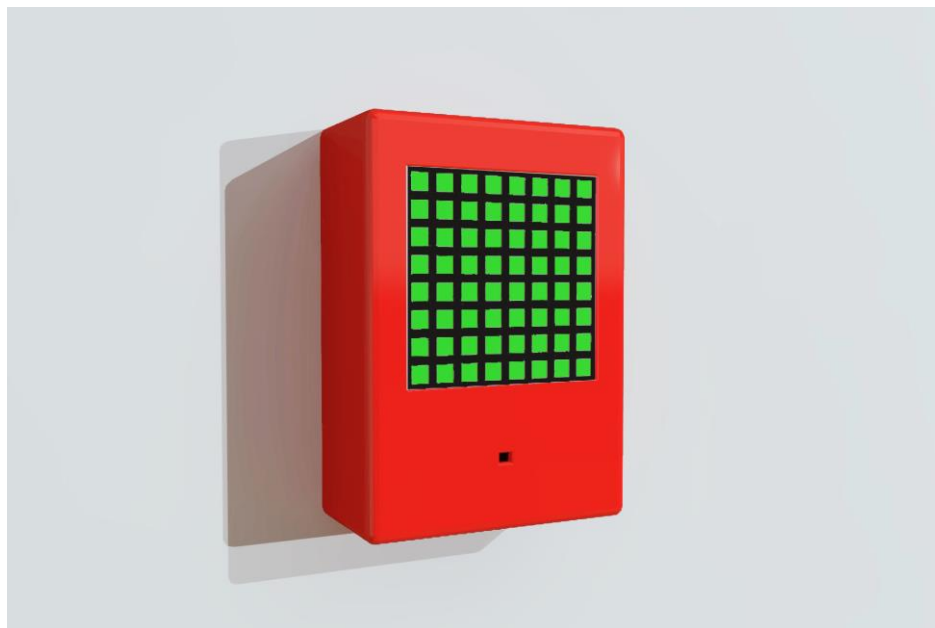
Oštri kutovi i bridovi su ujedno i koncentratori naprezanja u modelu, dodavanjem zaobljenja smanjuju se naprezanja u takvim kritičnim točkama što rezultira ojačanju proizvoda. Na slici 15. je prikazana dobra i loša konstrukcija prijelaza.



Slika 15. Dobra i loša konstrukcija prijelaza [4]

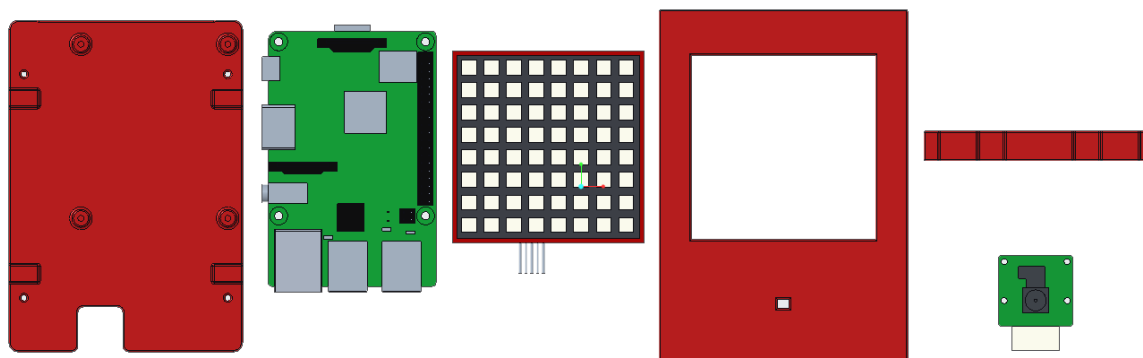
5.2. Postupak konstruiranja i izrade kućišta

U današnje vrijeme jedan od glavnih zahtjeva pri konstruiranju proizvoda, uz funkcionalnost proizvoda, je i estetika. Kako biste ste bili konkurentni na tržištu proizvod bi trebao raditi što ste zamislili, ali i izgledati lijepo. Na slici 12. prikazan je zamišljeni izgled QrBox-a postavljenog na zid.



Slika 16. Zamišljeni izgled QrBox-a postavljenog na zid

Model sklopa u CAD programu Creo Parametric 4.0 vidimo na slici 13.



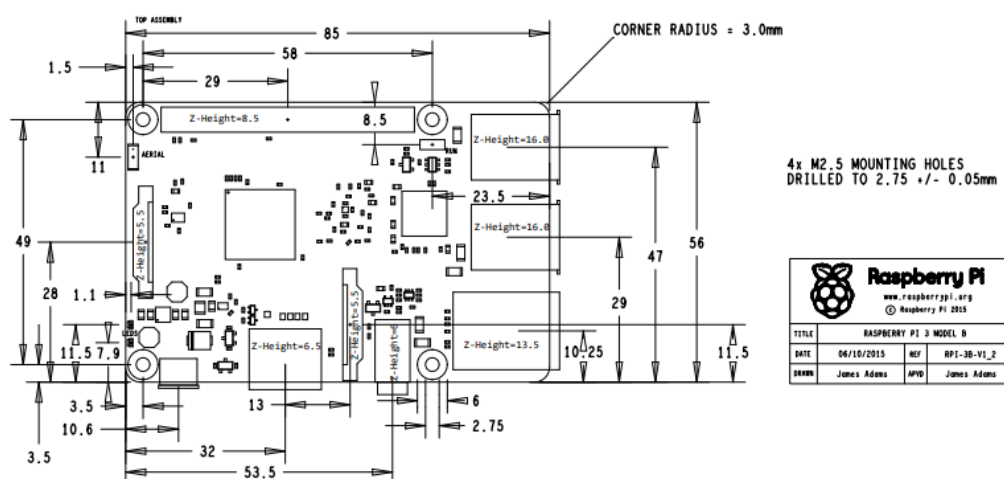
Slika 17. Model sklopa u CAD programu Creo Parametric 4.0

Cijeli postupak konstruiranja i izrade sastojao se od tri faze:

- Dimenzioniranje kućišta
- Izrada 3D modela
- 3D ispis

5.2.1. Dimenzioniranje kućišta

Kako bi uspješno dimenzionirao kućište bilo je potrebno odrediti koje će se sve komponente ugrađivati u kućište i koje su njihove dimenzije. Nakon određivanja komponenti koje se ugrađuju unutra bilo je potrebno napraviti njihove 3D modele kako bih se uvjerio da stanu unutar kućišta bez ikakvih poteškoća. Za izradu 3D modela komponenata koristio sam službenu tehničku dokumentaciju dostupnu na internetu. Nakon izrade 3D modela komponenata bilo je moguće dimenzionirati samo kućište. S obzirom da je estetika od presudne važnosti izrazito je važno da sami uređaj na zidu bude što kompaktniji i da ne izgleda glomazno. Stoga sam kod dimenzioniranja kućišta uzimao što manje moguće vrijednosti. Na slici 14. primjer je tehničke dokumentacije za računalo Raspberry Pi 3B+.



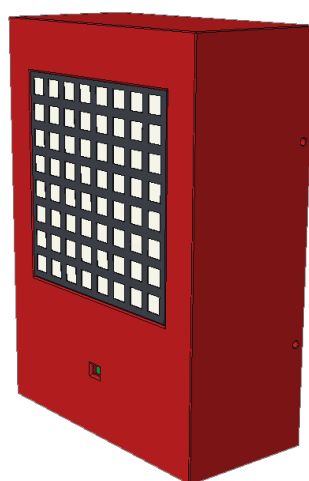
Slika 18. Primjer je tehničke dokumentacije za računalno Raspberry Pi 3B+ [6]

5.2.2. Razvoj računalnog 3D modela kućišta

Samo kućište se sastoji od tri dijela:

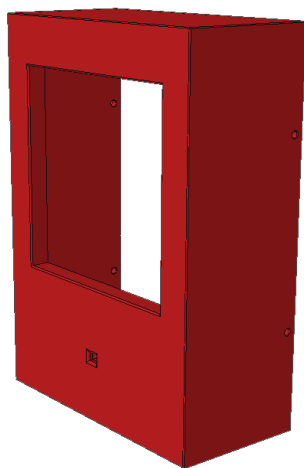
- Poklopca
- Stražnjeg dijela
- Držaća za ekran.

Na slici 15. prikazan je sklop QrBox-a



Slika 19. Slika sklopa QrBox-a

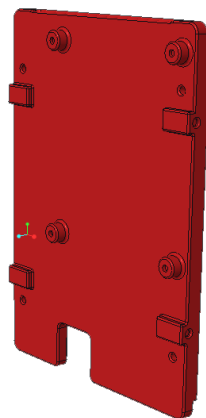
Poklopac je najveći dio koji je ujedno i najkompleksnije geometrije. Na prednjoj strani ima dva otvora, veći i manji. Veći otvor služi za montiranje LED ekrana dok manji otvor služi za montiranje Raspberry Pi kamere. Na bočnim stranicama se nalaze već predviđene rupe za montiranje koje služe za povezivanje poklopca sa stražnjim dijelom. U unutrašnjosti poklopca nalaze se nosači ekrana, mjesto za povezivanje poklopca i držača ekrana, te nosači s već predviđenim provrtima za Raspberry Pi kameru. Nosači za kameru su točno određene visine i udaljenosti od same stijenke poklopca s obzirom na pripadajuću širinu leće kamere i fokalnu udaljenost. Na bridovima i kutovima su dodani pripadajući radijusi koji pomažu u snižavanju koncentracije naprezanja tijekom ispisa. Već nakon prvog ispisa sam primijetio da, zbog visine cijelog poklopca, dolazi do odljepljivanja modela od površine što je na kraju rezultiralo izvitoperenjem. Kako bih izbjegao to u sljedećim ispisima dodani su, na svakom od četiri kuta, valjci koji su osiguravali da se materijal u kutu poklopca hladi jednakom brzinom kao i u ostatku modela. Debljina stijenke nije na svim dijelovima modela jednaka što ne bi bilo moguće izvesti ukoliko bi se isti poklopac izrađivao postupkom injekcijskog prešanja. Na slici 16. vidljiv je poklopac kućišta QrBox-a s valjcima za jednolično hlađenje modela tijekom 3D ispisa.



Slika 20. Poklopac kućišta QrBox-a s valjcima za jednolično hlađenje modela tijekom 3D ispisa

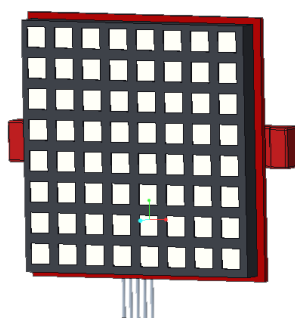
Stražnji dio kućišta je pločastog izgleda s već predviđenim rupama za montažu na zid, nosačima za Raspberry Pi i predviđenim prihvratima za poklopac. Debljina samog stražnjeg

dijela je nešto veća s obzirom da se taj dio postavlja na zid. Na slici 17. prikazan je stražnji dio kućišta.



Slika 21. Stražnji dio kućišta

Držać za ekran prati dimenzije i oblik ekrana, te služi za prevenciju utiskivanja ekrana u kućište nakon montaže na zid. Na slici 18. prikazan je držač s ekranom.

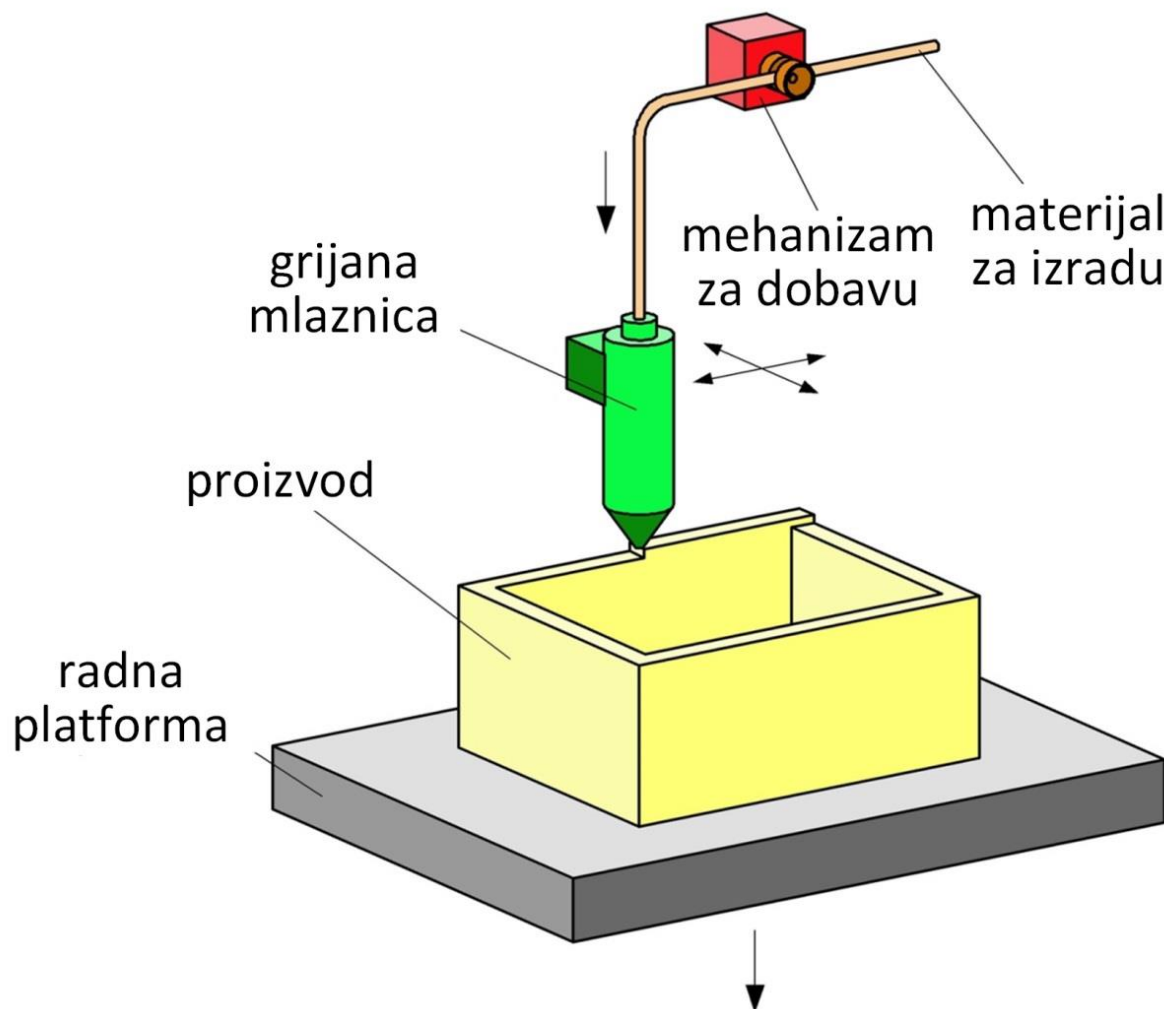


Slika 22. Držač s ekranom

5.2.3. 3D ispis kućišta

5.2.3.1. FDM postupak

Tvrtka Stratasys (SAD), osnovana 1988., od samog je početka sav svoj razvoj usmjerila k opremi za FDM postupak. Riječ je o postupku pri kojem se za izradu proizvoda rabi rastaljen, najčešće polimerni materijal. Načela postupka taložnog sraščivanja vidljiva su na slici 19. [1]



Slika 23. Načela postupka taložnog sraščivanja [1]

Uređaji za FDM rade na načelima troosnoga NC obradnog centra. Kroz mlaznicu, upravljanu s pomoću računala u sve tri osi, prolazi polimerni materijal u obliku žice, koji se u mlaznici zagrijava i tali. Materijal napušta mlaznicu u kapljevitom stanju, a pri sobnoj temperaturi vrlo brzo očvršćuje. [1]

Stoga je osnovni zahtjev FDM procesa održavanje temperature kapljevito materijala malo iznad temperature očvršćivanja. Tijekom građenja proizvoda materijal se ekstrudira i polaže na željena mjesta u vrlo finim slojevima. [1]

Za izradu proizvoda kompliciranije geometrije može se uporabiti i podupor. U tom se slučaju između podupora i proizvoda postavlja sloj za razdvajanje, tako da se nakon izrade proizvoda podupor može bez teškoća odvojiti. [1]

Kvaliteta površine proizvoda usporediva je s površinom nakon SLS postupka, no proizvodi su porozniji. Naknadnim postupkom prodiranja punila u proizvode moguće im je povišiti gustoću. [1]

Prednosti FDM postupka očituju se u tome što nije potreban laser, manja je potrošnja energije, nema zahtjeva za hlađenje i ventilaciju, jednostavna je uporaba, relativno mala investicija, niski su troškovi održavanja, male izmjere uređaja (nema zahtjeva za odvojen radni prostor), nema vitoperenja proizvoda. [1]

Osnovni nedostaci FDM postupka ponajprije se odnose na funkcionalnost proizvoda, koja je ograničena izborom materijala, vrlo je često nužna izrada podupora, potrebna je naknadna obrada proizvoda, vidljive su linije između slojeva, čvrstoća proizvoda snižena je u smjeru okomitom na smjer izrade slojeva oscilacije temperature tijekom postupka mogu dovesti do delaminiranja (raslojavanja) proizvoda. [1]

5.2.3.2. Priprema za 3D ispis

Priprema za 3D ispis uključuje sljedeće stavke:

- Izvoz datoteke CAD modela u STL datoteku
- Podešavanje parametara
- Prebacivanje STL datoteke na MicroSD karticu
- Zagrijavanje i priprema MakerBot Replicator 2X uređaja
- Odabir datoteke i početak ispisa

Nakon dovršenja modela potrebno je CAD model spremići u STL datoteku. Kako STL datoteka opisuje model pomoću mreže trokuta potrebno je posebnu pozornost obratiti na razlučivost datoteke. Premala razlučivost datoteke bi rezultirala nekvalitetnim proizvodom s obzirom da su trokuti preveliki, a površina hrapava. S druge strane prevelika razlučivost znači jako puno malih trokuta što rezultira prevelikom datotekom koja je na kraju neupotrebljiva.

Za 3D ispis kućišta QrBox-a korišten je MakerBot Replicator 2X i ABS filament. Kod ispisa s ABS-om potrebno je odrediti parametre temperature postolja na kojem se ispisa model i temperaturu ekstrudera. Zbog loše postavljenih grijača u postolju razlika u mjerenoj i stvarnoj temperaturi postolja je bila skoro 10°C što je, u nekoliko slučajeva, rezultiralo odvajanjem modela od površine.

Parametri koji su bili podešavani uključuju [8]:

- temperaturu ekstrudera
- temperaturu platforme
- dodavanje podloge
- određivanje gustoće ispune
- određivanje uzorka ispune

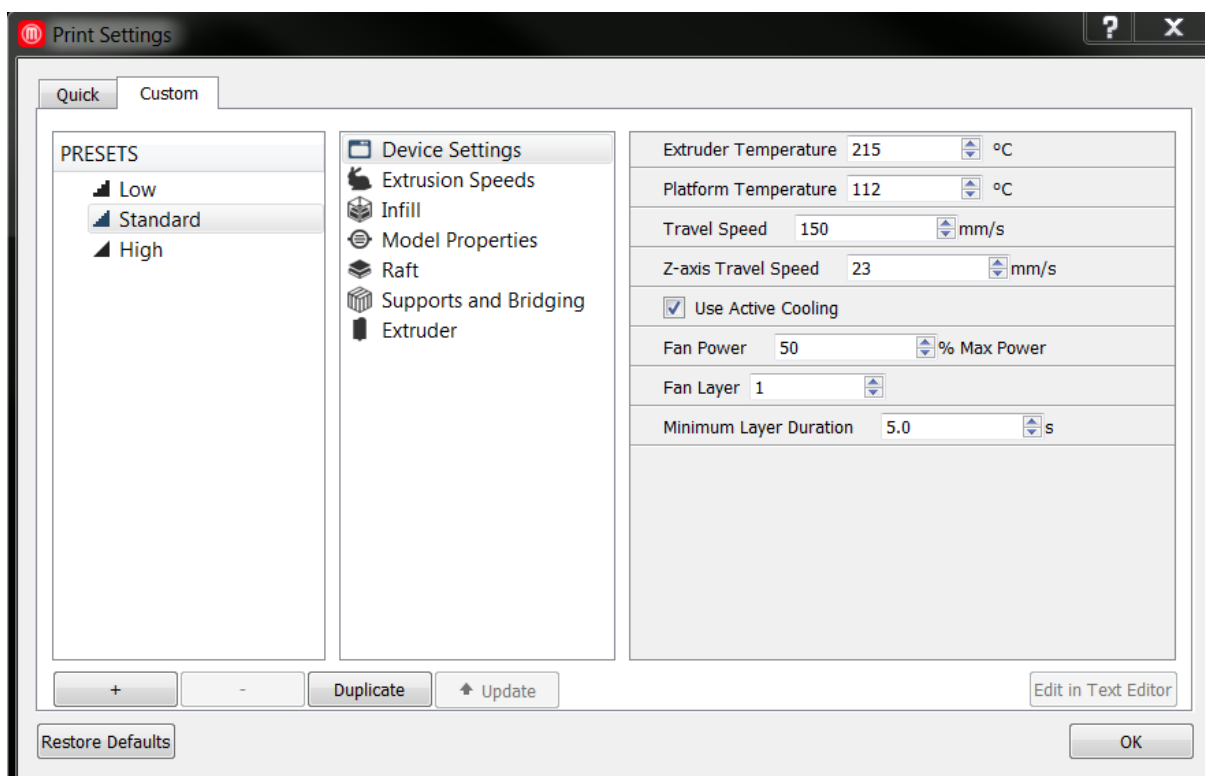
Temperatura ekstrudera bila je podešena na 233°C jer se tijekom prijašnjih ispisa pokazalo da je to najbolja temperatura za ispis. Temperatura platforme bila je postavljena na 113°C što se pokazalo lošim zbog toga što to nije bila stvarna temperatura platforme pa je dolazilo do odvajanja modela od platforme.

Podloga je temelj na kojem se gradi model koji osigurava da model dobro prijanja na platformu, a uklanja se nakon ispisa. Kod ispisa poklopca nije bilo potrebe za korištenjem podloge, dok je ona kod ispisa stražnjeg dijela bila nužna.

Ispuna je unutarnja struktura koja se dodaje u postotcima i određuje krutost modela, veći postotak ispune daje krući model. U slučaju ispisa kućišta korišteno je 60% ispune.

Nakon postavljanja parametara ispisa slijedi prebacivanje STL datoteke na MicroSD karticu. Kako bi ispis mogao krenuti potrebno je zagrijati stroj na radnu temperaturu (zadane parametre).

Nakon zagrijavanja uređaja ispis može početi. Određivanje nekih parametara unutar MakerBot MakeWare programa vidljiva su na slici 20. [7]

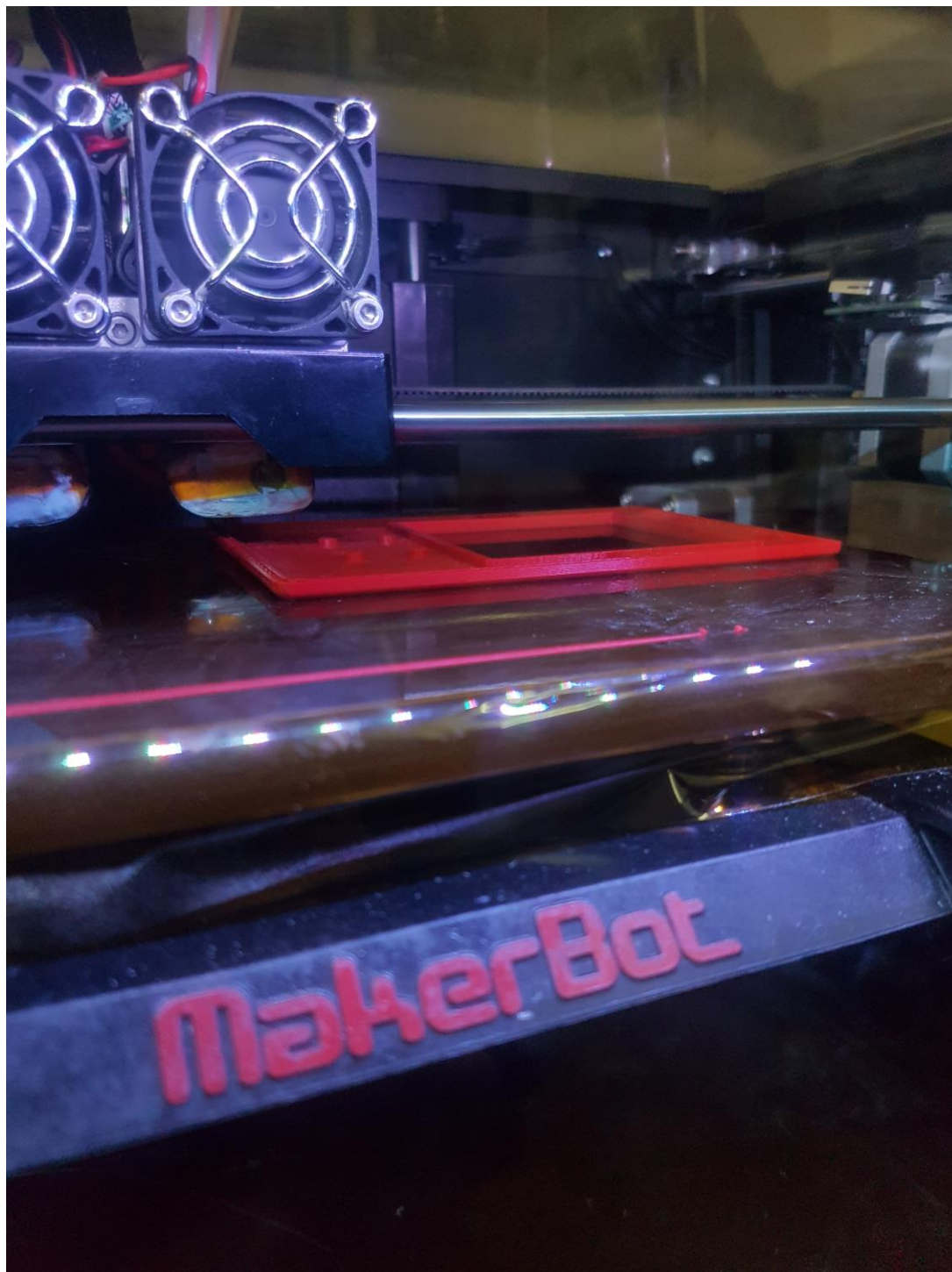


Slika 24. Određivanje nekih parametara unutar MakerBot MakeWare programa [7]

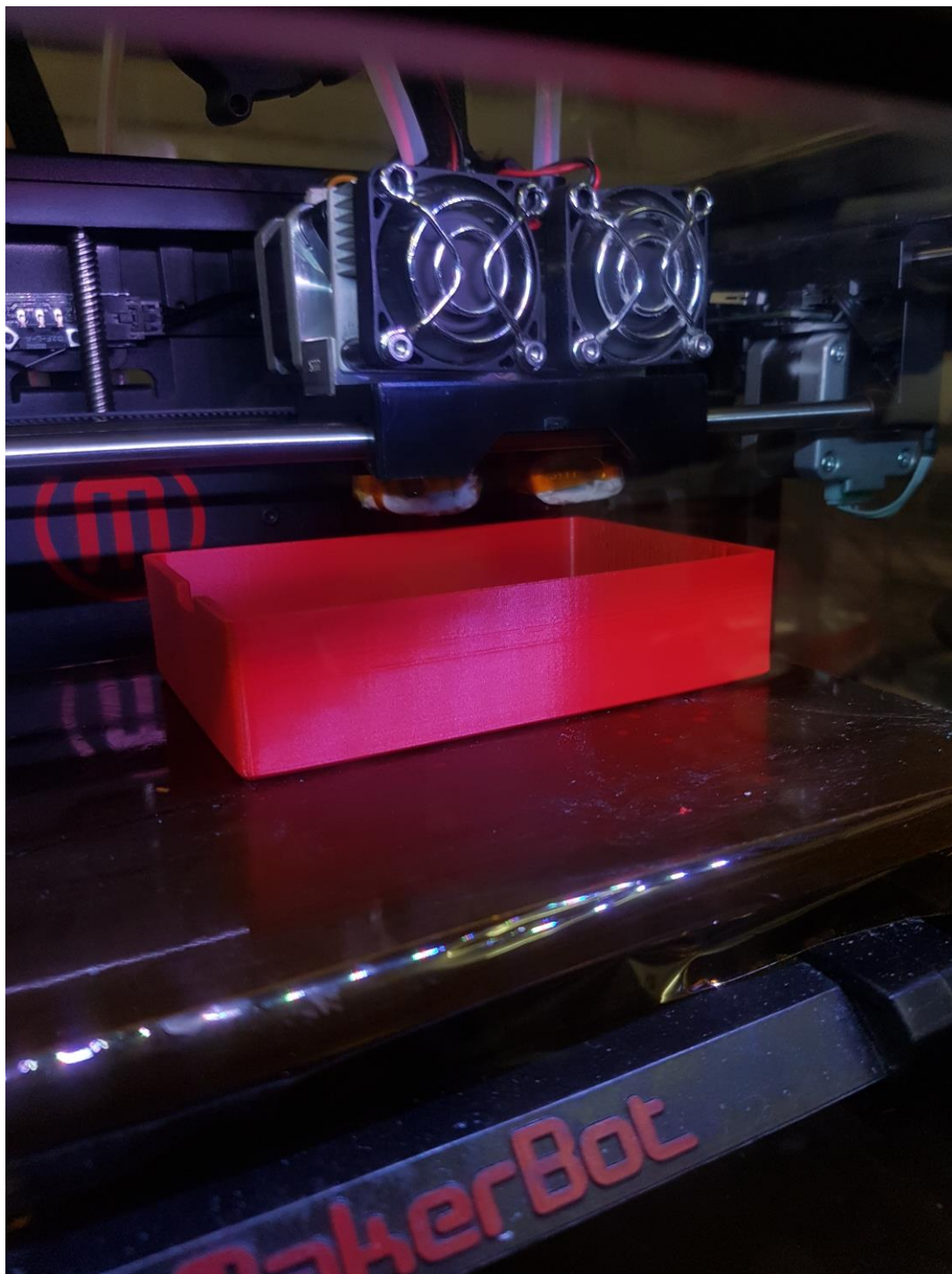
5.2.3.3. 3D ispis kućišta

Ispis prvih nekoliko slojeva je kritični period kod ispisa modela jer do pogreške dolazi najčešće u tom periodu. Ukoliko sve dobro prođe na početku velika je vjerojatnost da će sve do kraja biti uredno. Ukupno vrijeme potrebno za ispis svih komponenti je otprilike 9 sati.

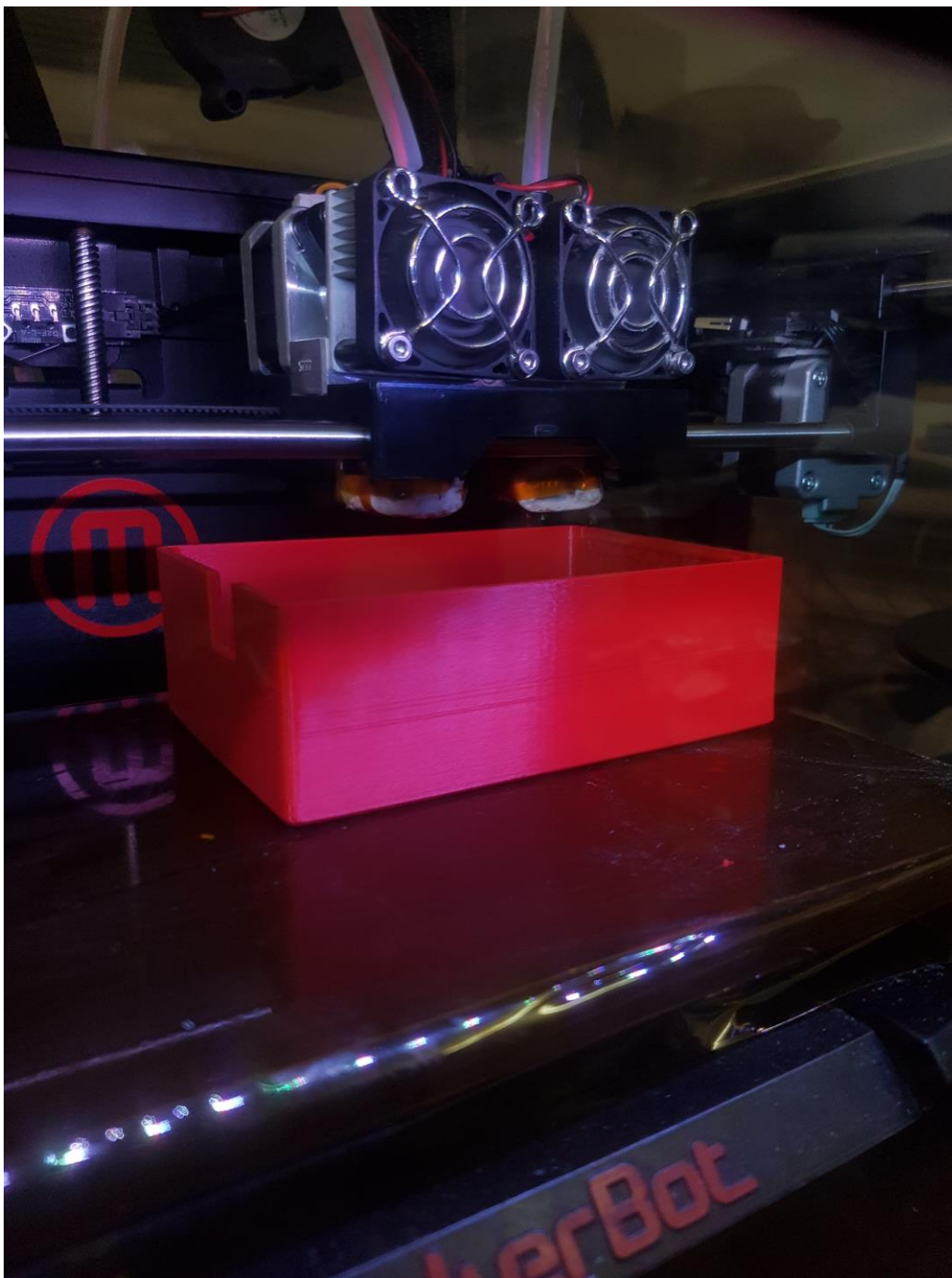
Tijek ispisa QrBox-a vidljiv je na slikama 21., 22. i 23.



Slika 25. Početak ispisa QrBox-a



Slika 26. Ispis QrBox-a



Slika 27. Završetak ispisa QrBox-a

5.2.4. Završna obrada kućišta

Dijelom zbog neprecizne tehničke dokumentacije komponenti koje se ugrađuju u QrBox, a po kojima su rađene određene rupe i provrti na samome kućištu, a dijelom zbog rezolucije uređaja za ispis, rupe i provrti nisu imali dobru dimenzijsku točnost pa su zahtijevale dodatnu obradu. Isto tako zbog pojave određenih nesavršenosti tijekom ispisa u većini slučajeva je

potreban neki oblik završne obrade. U slučaju QrBox-a pojavile su se nesavršenosti na prednjem dijelu kućišta.

Završna obrada u slučaju QrBox-a je uključivala:

- Brušenje
- Obradu akrilnim kitom
- Lakiranje.

5.2.4.1. Brušenje

Brušenje je uključivalo obradu turpijom i brusnim papirom različitih granulacija. Turpija je korištena za popravak dimenzijske točnosti rupa i provrta, dok se brusnim papirom obrađivala vanjska površina QrBox-a. Na slici 24. prikazan je postupak brušenja kućišta QrBox-a.



Slika 28. Prikaz postupka brušenja kućišta QrBox-a

5.2.4.2. Obrada akrilnim kitom

Akrilni kit je materijal koji se koristi za popravljivanje malih nesavršenosti na površinama materijala. Nakon ispisa na površini kućišta pojavila su se ulegnuća koja su se popravila nanošenjem, u nekoliko navrata, akrilnog kita i naknadnim brušenjem. Na slici 25. je prikaz postupka obrade akrilnim kitom kućišta QrBox-a.



Slika 29. Prikaz postupka obrade akrilnim kitom kućišta QrBox-a

5.2.4.3. Lakiranje

Lakiranje je zadnji dio završne obrade i dolazi na red nakon što smo zadovoljni s kvalitetom površine. Potrebno je nanošenje u nekoliko navrata kako bi se postigli željeni rezultati. Na slici 26. je prikaz postupka lakiranja kućišta QrBox-a



Slika 30. Prikaz postupka lakiranja kućišta QrBox-a

6. PREDNOSTI I NEDOSTACI PRIMJENE ADITIVNE PROIZVODNJE U USPOREDBI S KLASIČNOM PROIZVODNjom POSTUPKOM INJEKCIJSKOG PREŠANJA

Iako je injekcijsko prešanje najvažniji i najusavršeniji ciklički postupak preradbe polimera nije uvijek najpogodniji. U slučaju QrBox-a, koji je klasični primjer razvoja proizvoda od ideje do gotovog proizvoda i koji je u suštini prototip, aditivna proizvodnja je sigurno bolja opcija po pitanju troška izrade, brzine, kompleksnosti geometrije i dostupnosti. Ukoliko bi se proizvodila dovoljno velika serija, koja bi opravdala troškove izrade kalupa, injekcijsko prešanje bi bilo najbolji izbor jer bi bilo isplativo, daleko brže od aditivne proizvodnje i s boljom dimenzijskom točnošću otpreska, ali bi se model trebao prilagoditi tom postupku. Aditivna proizvodnja pogodnija je za proizvodnju malih serija ili prototipova zbog brzine i cijene izrade, ali u slučaju velikih serija još uvijek je injekcijsko prešanje najbolji postupak izrade.

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bilo konstruiranje, razvoj i izrada kvalitetnog prototipa kućišta čitača QR kodova za aditivnu proizvodnju. Prototip je izrađen i u njega je moguće ugraditi sve komponente koje je potrebno ugraditi kako bi bio potpuno funkcionalan, a koje su navedene u radu. Jedini logični izbor za proizvodnju prototipa bila je aditivna proizvodnja s obzirom da je ona mnogostruko puta jeftinija od injekcijskog prešanja kada je riječ o izradi prototipa ili manjih serija. Ukoliko bude zahtjeva za većom serijom čitača uvijek je moguće kućište prilagoditi za proizvodnju procesom injekcijskog prešanja. Koliko god dostupna, aditivna proizvodnja, još uvijek nije pouzdani način proizvodnje gotovih proizvoda s obzirom da se puno vremena mora uložiti u završnu obradu i ispravljanja defekata. Bez obzira na trenutnu situaciju smatram da će aditivna proizvodnja u skorijoj budućnosti konkurirati u masovnoj proizvodnji procesu injekcijskog prešanja širenjem strojeva poput HP-ovih pisača.

LITERATURA

- [1] Godec, D.; Šercer, M.: Aditivna proizvodnja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb lipanj 2015.
- [2] Wohlers T.; Garnett T.; History of additive manufacturing; Wohlers Associates, INC.; 2014. <http://wohlersassociates.com/history2014.pdf> (19. 02. 2019.)
- [3] Wohlers T.; Rapid prototyping, Tooling & Manufacturing State of the Industry; Wohlers Associates, INC; 2005. <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2015/NIST.IR.8059.pdf> (19. 02. 2019.)
- [4] Pilipović A.; Runjić-Sokele M.: AdTeh CURRICULUM ADITIVNE PROIZVODNJE;
- [5] Čatić I.: Proizvodnja polimernih tvorevina; Društvo za plastiku i gumu: Zagreb 2006.
- [6] https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/mechanical/rpi_MEC_H_3b_1p2.pdf
- [7] https://support.makerbot.com/learn/makerbot-desktop-software/print-settings/custom-settings_11912
- [8] MakerBot in the classroom: an introduction to 3D printing and design; MakerBot; 2015.

PRILOZI

I. CD-R disc